

Effektsamband för transportsystemet

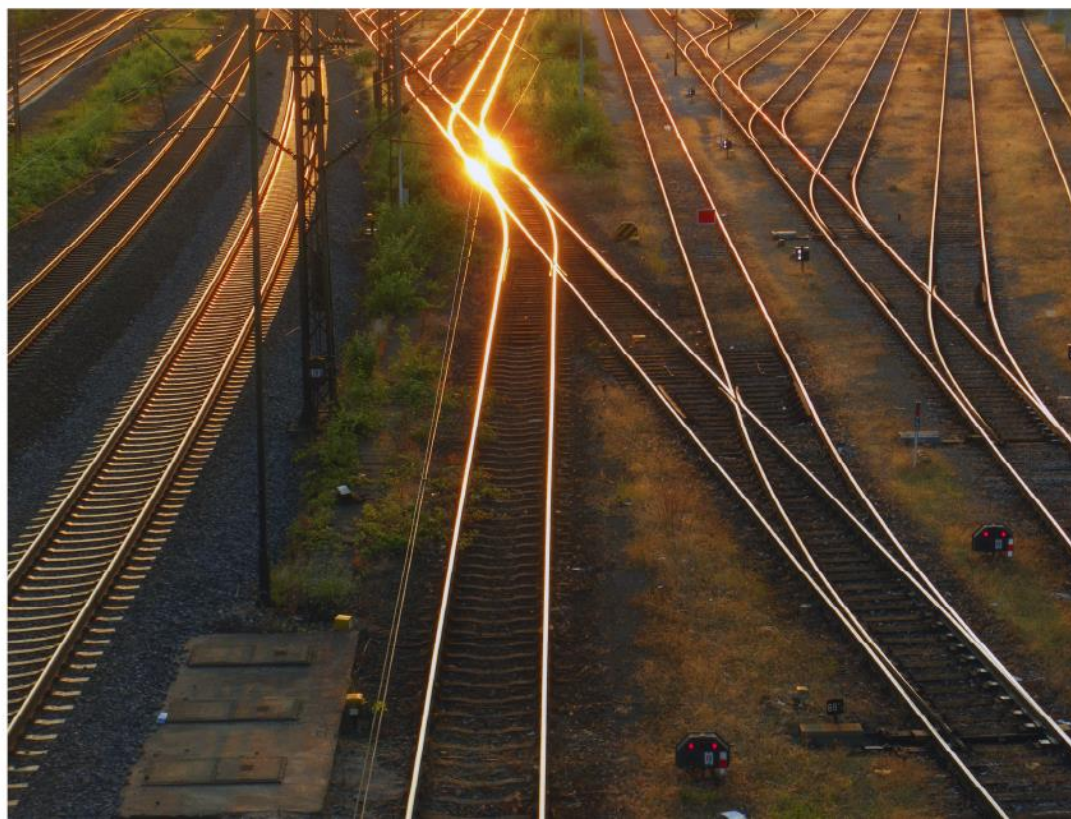
Fyrstegsprincipen

Version 2024-04-02

Steg 2

Drift och underhåll

Kapitel 3 Drift och underhåll av belagda vägar



Översiktlig beskrivning av förändringar och uppdateringar i kapitel 3, Drift och underhåll

Version 2014-04-01:

Nytt avsnitt 3.1.12 Analysverktyg, belagd väg

Version 2017-04-01:

Nytt avsnitt 3.2 Vägarbetsområdets påverkan på trafikens kapacitet

Version 2020-06-15:

Kompletterat avsnitt 3.2 Vägarbetsområdets påverkan på trafikens kapacitet

Version 2022-04-01:

Redaktionella justeringar

Version 2024-04-01:

Redaktionella justeringar på bulleravsnittet 3.1.6.

Dokumenttitel: Effektsamband belagda vägar

Dokumentdatum: 2024-04-02

Dokumenttyp: Rapport

Version: 2024-04-02

Utgivare: Trafikverket

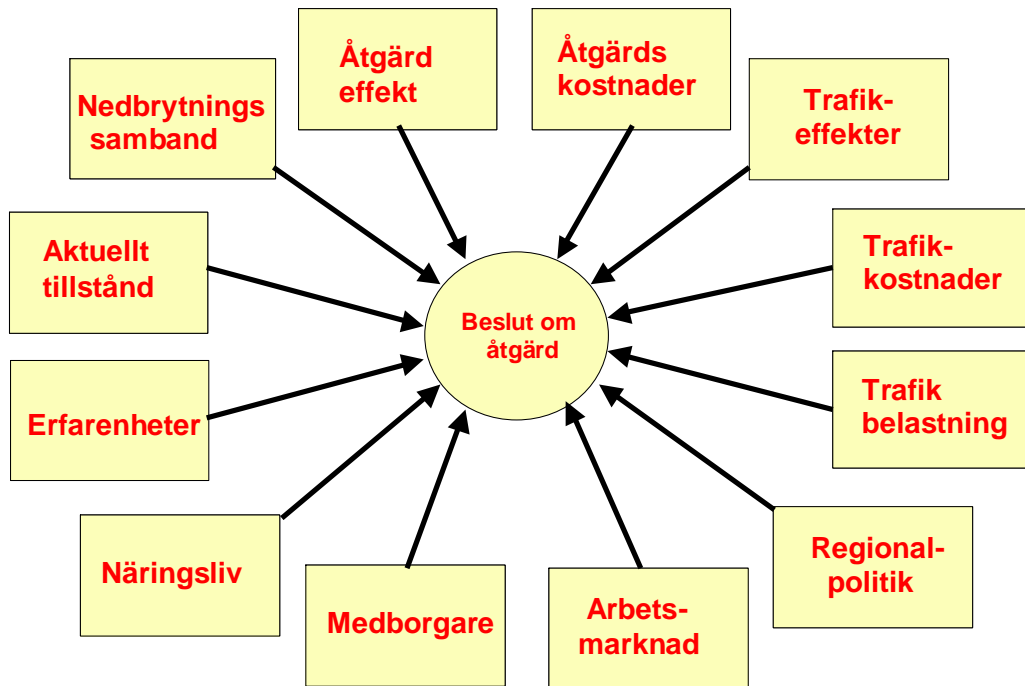
Innehåll

3.1	Drift och underhåll av belagd väg.....	4
3.1.1	Bakgrund	4
3.1.2	Översikt av Trafikeffekter belagda vägar	6
3.1.3	Trafikanternas krav	9
3.1.4	Vägytans inverkan på hastighet	9
3.1.5	Vägytans effekter på fordon	12
3.1.6	Vägytans inverkan på externt buller	18
3.1.7	Vägytans inverkan på avgaser	23
3.1.8	Vägytans inverkan på saltförbrukning.....	23
3.1.9	Vägytans inverkan på partiklar	23
3.1.10	Vägytans effekter på komfort.....	30
3.1.11	Vägytans effekter på trafiksäkerhet	33
3.1.12	Analysverktyg, belagd väg	35
3.2	Vägarbetsområden på motorvägar - påverkan på trafikens kapacitet ...	37
3.2.1	Inledning	37
3.2.2	Resultat	38
3.2.3	Beräkningsexempel.....	41
3.3	Vägarbetsområden på 2+1-vägar - påverkan på trafikens kapacitet.....	43
3.3.1	Inledning	43
3.3.2	Resultat	43
3.3.3	Beräkningsexempel.....	47
3.4	Referenser.....	49

3.1 Drift och underhåll av belagd väg

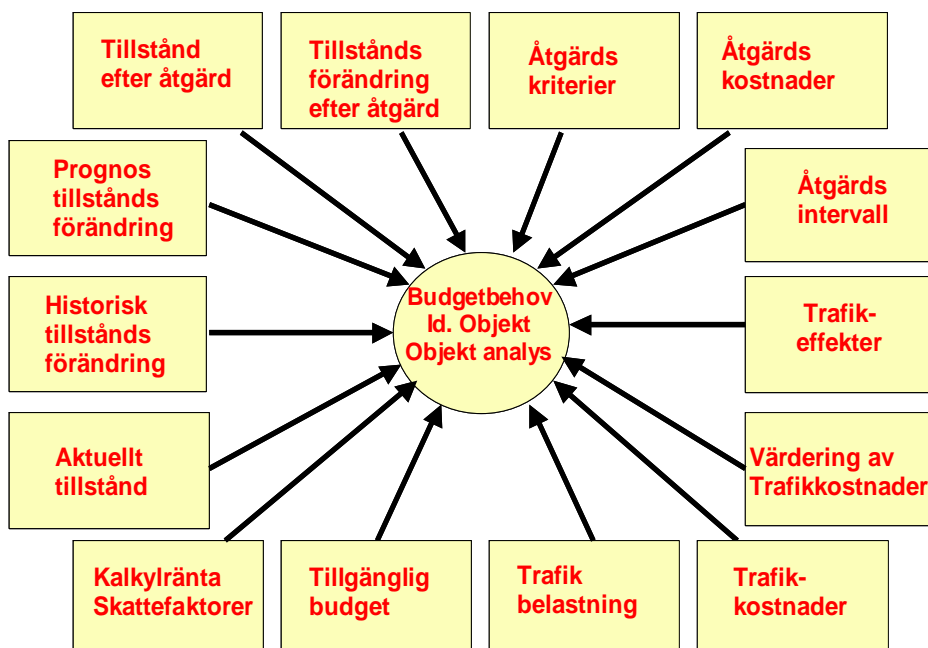
3.1.1 Bakgrund

När en väg byggs dimensioneras den för att hålla en viss tid. Under vägens livstid sker ett löpande rutinunderhåll och periodiskt utförs större åtgärder. När och om åtgärder sätts in är beroende ett flertal faktorer (Figur 3.1-1). Vissa av dessa faktorer kan användas för att beräkna kostnader för åtgärder och effekter (Figur 3.1-2).



Figur 3.1-1 Viktiga faktorer som påverkar beslut om åtgärder

Andra faktorer såsom regionalpolitik, arbetsmarknad och trafikanternas krav är dock svårare att värdera i pengar och därmed svårare att använda i en kostnadsberäkning. Likväl påverkar även dessa faktorer beslut om åtgärder.

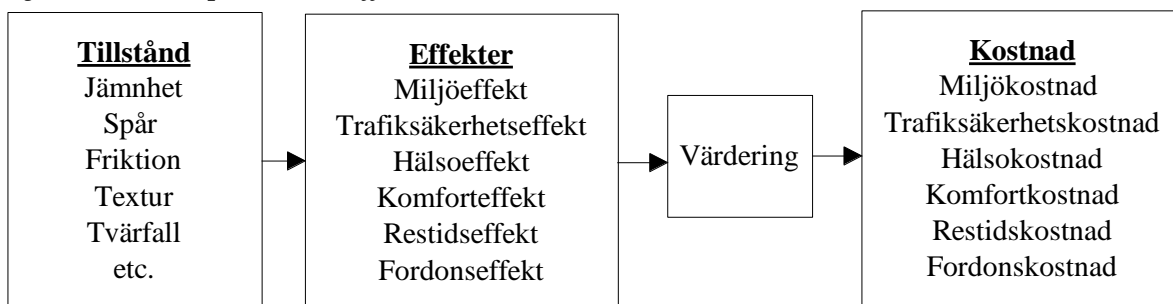


Figur 3.1-2 Exempel på faktorer som används för att beräkna budgetbehov, identifiera objekt och för objektanalys.

När en åtgärd utförs förbättras en vägs tillstånd initialt och den nya åtgärden får en viss tillstånds förändring fram till att nästa åtgärd utförs osv. Åtgärden innebär en kostnad för väghållaren men också en nytta för samhället jämfört med om ingen åtgärd utförs. Den tillstånds förändringen åtgärden medför används för att beräkna trafikeffekter (bränsleförbrukning, hastighetsförändring, däckförbrukning, fordonsslitage, komfort mm). Dessa trafikeffekter värderas och trafik kostnaderna kan beräknas. För att kunna utföra beräkningarna krävs även god kunskap om trafiken och dess sammansättning. I en lönsamhetsberäkning jämförs trafik kostnaden med väghållarnas kostnader för olika alternativa underhållsåtgärder. Om en åtgärd utförs beror också på tillgänglig budget och kalkylförutsättningar som kalkylränta och skattefaktorer.

Vägytans tillstånd medför sålunda effekter för trafikant, omgivning och samhälle. De effekter som kan värderas i pengar ger en trafik kostnad (Figur 3.1-3) men alla effekter kan inte värderas i pengar utan måste beskrivas verbalt.

Figur 3.1-3 Princip Tillstånd-Effekter-Kostnad



Trafikeffekter beskrivs med olika modeller för hastighet, fordons (bränsleförbrukning, däckslitage, reparationer mm), olycksrisk, komfort, hälsa, miljö (buller, avgaser) etc. Modellerna beskriver effekter av vägytans tillstånd jämfört med om vägytan varit i perfekt skick. Detta kapitel behandlar trafikeffekter av drift och underhåll av belagda vägar.

Vägytans tillstånd beskrivs genom de mätningar som utförs på det belagda vägnätet. Sedan 1987 finns tillgång till data för det statliga belagda vägnätet för spårdjup och ojämnheter i längsled (IRI). Dessa mätningar har successivt kompletterats med nya mätvariabler i syfte att få ett bättre underlag att beskriva trafikeffekter.

För närvarande finns inte modeller för att beskriva alla trafikeffekter. I detta kapitel beskrivs de modeller som kan tillämpas i dagsläget (2012). Hur den samhällsekonomiska metodiken är uppbyggd beskrivs i ”Gemensamma förutsättningar” och värdering av effekterna görs enligt beskrivning i senast gällande ASEK- version.

3.1.2 Översikt av Trafikeffekter belagda vägar

I detta kapitel görs ett försök att i två steg, via vägens så kallade funktionella egenskaper, bedöma inverkan av olika materiella och strukturella egenskaper på trafikanter och omgivning. Detta illustreras nedan i form av två matriser. Matriserna är en vidareutveckling av de matriser som redovisas i VTI notat 71-2000 [1:32].

I det första steget bedöms vägytans funktionella egenskapers betydelse för olika trafikeffekter, (Figur 3.1-4). I det andra steget bedöms betydelsen av olika material- och konstruktionsegenskaper för vägytans funktionella egenskaper. (Figur 3.1-5).

Material- och konstruktionsegenskaper är de egenskaper som går att mäta eller bedöma. I matrisen har texturen hos vägytan indelats i mikro-, makro- och megatextur. Mikrotexturen beror av ytegenskaperna hos själva stenmaterialet och påverkas också av exempelvis blödning. Makrotexturen beror av beläggningstyp och stenstorlek samt även blödning. Megatexturen påverkas av t.ex. förekomsten av sprickor, slaghål och stensläpp.

Med ojämnheter hos vägytan avses exempelvis deformationer orsakade av tung trafik och bristande bärighet, spårslitage pga. dubbdäck, sättningar, tjälkott, upptinande block etc.

Vägytans ojämnheter har indelats i kategorierna tvärgående, längsgående och lokala ojämnheter. De två föregående har i sin tur indelats i ett antal underkategorier som har olika stor betydelse för vägytans funktionella egenskaper.

Även vägens linjeföring har tagits med i matrisen eftersom denna i kombination med vissa egenskaper på vägytan har betydelse för de funktionella egenskaperna. Ett exempel är kombinationen av spårdjup och tvärfall som har avgörande betydelse för vattenavrinningen.

Den sekundära funktionella egenskapen kallad vattendjup orsakas av pölbildning. Is och snö på vägen är ett resultat av problem för vinterväghållningen orsakade av vägytans tillstånd.

Primära och sekundära funktionella egenskaper	Fordonskostnader			Restid	Trafiksäkerhet	Komfort	Miljöeffekter/kostnader			
	Bränsleförbrukning	Däckslitage	Reparationer				Avgaser	Saltförbrukning	Partiklar	Externt buller
Friktion				+	+++	++				
Rullmotstånd	+++	+					+++		+	
Däckslitageeg.		+++							+	
Buller/ ljud-information				+	+	++				+++
Vibrationer			+	++	+	+++				+
Krängningar			+	+	++	++				
Stöt(ar)			++		++	+				
Ytavvattning	+			+	+			+		
Synbarhet, ljusreflektion				+	+	+				
Vattendjup	+			++	++	+				
Is på vägen				+	++	+		+		
Snö på vägen	+			+	++	+		+		

Figur 3.1-4 Matris som visar bedömning av vägytans funktionella egenskapers betydelse för olika trafikeffekter (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse) [1:47]

Material- och konstruktionsegenskaper	Primära funktionella egenskaper									Sek. funkt. egensk.		
	Friktion	Rullmotstånd	Däckslitage	Buller och ljudinformation	Vibrationer	Krängningar	Stöt(ar)	Ytavvattning	Synbarhet, ljusreflektion	Vattendjup	Is på vägen	Snö på vägen
Mikrotextur <0,5	+++	+	++	+								
Makrotextur 0,5 –	+++	++	++	+++				++	++		+	
Megatextur 50 mm-	+	++	+	++	++	+	+	+		++		
Tvärg. ojämnheter:												
Kantdeformation/-häng						++						
Spårdjup			+			+		++		++	++	++
Spårform			+			+		++		++	++	++
Längsg. ojämnheter:												
0,5 - 1 m		+		+	++						+	+
1 - 3 m		+			++						+	+
3 – 10 m		+			++	++					+	+
10 – 30 m						++				+	+	+
30 – 100 m						++				+		
Tvärfallsförändringa		+	+			+++						
Lokala/singulära ojämnh			+				+++					
Linjeföring:												
Backighet			+++					++		+		
Kurvatur		+	+++			+						
Tvärfall		+	+			(+)		+++		+++	+	
Genomsläpplighet				+++				++	++	++	+	
Styvhet		+	+	+								
Beläggningsens färg									+			

Figur 3.1-5 Matris som visar bedömning av olika material- och konstruktionsegenskapers betydelse för en vägytas funktionella egenskaper (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse). [1:47]

3.1.3 Trafikanternas krav

Trafikanternas uppfattning om vägars tillstånd är av stor betydelse. Även om direkta effekter av ett uppmätt tillstånd inte är signifikanta kan trafikanternas uppfattning vara betydande. Trafikanterna kan uppleva att en väg är dålig även om inga kända effektsamband indikerar detta.

Härvidlag genomförs, förutom mätningar, även undersökningar av hur trafikanterna upplever vägarna. I VTI:s studie "Trafikanternas krav på vägars tillstånd" (1:30) undersöktes trafikanternas uppfattning genom enkäter, fokusgruppstudie och körsimulator studie. Från denna studie kan noteras:

En bra vägyta ska vara jämn, fin, tyst och helst nyasfalterad. Det är viktigt att regnvatten kan rinna undan. Det som de tillfrågade är mest missnöjda med är pothål, spårbildning (vid vått väglag), ojämnheter, lappningar och sprickbildning. Gemensamt för dessa skador är att föraren försöker undvika dessa skador, antingen genom undanmanöver eller genom att välja en annan väg. Yrkeschaufförer uttrycker också missnöje med ojämna och svaga vägkanter.

Upplevelsen av en vägs tillstånd är en kombination av utseende, ljud och vibrationer/skakningar var för sig och summerat. Man kan dra slutsatsen att en väg ska ha en homogen färg, vara lågbullrande och ha en jämn bullernivå, samt vara jämn längs och tvärs vägen, för att upplevas som komfortabel och säker.

Upplevd komfort och upplevd säkerhet är nära relaterade till varandra men inte helt. Den upplevda säkerheten påverkar trafikanternas beteende. En spårig väg med vattenfyllda spår leder till en markant hastighetsänkning och en sidolägesförflyttning för att undvika de vattenfyllda spåren.

Kunskapen om trafikanternas upplevelse av vägars tillstånd visar också att de mått som idag används för att beskriva belagda vägars tillstånd behöver kompletteras för att bättre fånga trafikanternas upplevelse. Exempel på kompletterande mått är:

- Mått för att visa var vattenfyllda spår kan förekomma.
- Mått som beskriver var krängningar på grund av exempelvis kantdeformationer kan förekomma.
- Mått som beskriver den av trafikanterna upplevda bullernivån.

3.1.4 Vägytans inverkan på hastighet

Den hastighet en förare väljer beror av ett flertal faktorer som exempelvis linjeföring, väglag, ljusförhållande, vägytans tillstånd, hastighetsgräns, hastighetskameror, trafikflöde, väder etc. Den hastighet en förare väljer påverkar flera andra effekter som exempelvis olycksrisk, bränsleförbrukning, restid, fordonsslitage.

Om föraren av någon anledning bedömer att friktionen är låg sänker denne troligen hastigheten. Mikro- och makrotexturen har en stor betydelse för friktionen och kan därigenom sägas (indirekt) påverka framkomligheten och restiden.

Beläggningstexturen påverkar bullernivån i fordonskupén, vilket i sin tur kan ha betydelse för hastigheten. Ökade variationer i megatexturen sänker hastighetsnivån och ökar därmed restiden.

Spårdjup+ spårform + tvärfall, makrotextur och vattengenomsläpplighet har betydelse för vattenavrinningen/dräneringen i samband med regn. Med vattengenomsläpplighet avses här inverkan av öppna, dränerande beläggningar.

Synbarheten och ljusreflektionen kan förväntas ha stor betydelse för val av hastighet vid regn och mörker.

Snö och is på vägen kan innebära att friktionen fläckvis/sträckvis är lägre och kan därmed innebära sänkt hastighet.

Linjeföring (kurvor) i kombination med ytskador på grund av bromsning kan medföra lägre hastigheter.

Hastigheten beräknas enligt följande:

Personbilar

$$V = \frac{3.6}{\left[\left(\frac{3.6}{(HG * LF)} \right)^{\frac{1}{0.151}} + \left(\frac{1.5 * IRI}{203} \right)^{\frac{1}{0.151}} \right]^{0.151}}$$

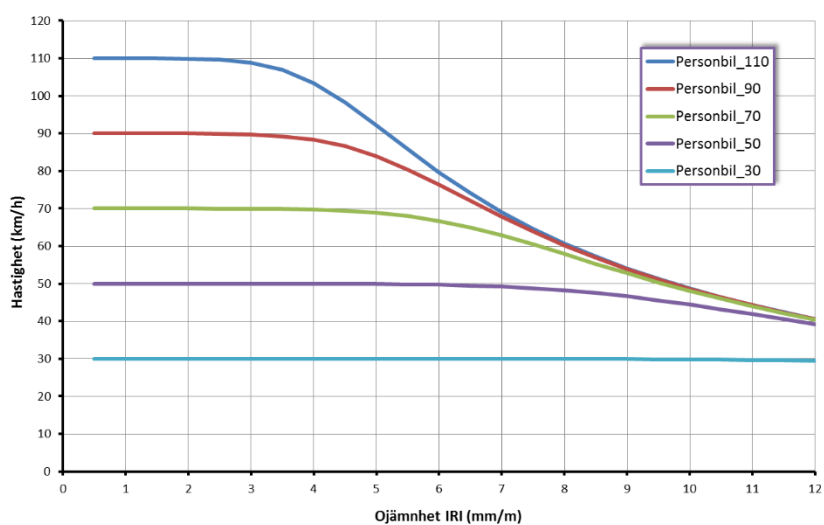
Lastbilar

$$V = \frac{3.6}{\left[\left(\frac{3.6}{(HG * LF)} \right)^{\frac{1}{0.11}} + \left(\frac{1.5 * IRI}{180} \right)^{\frac{1}{0.11}} \right]^{0.11}}$$

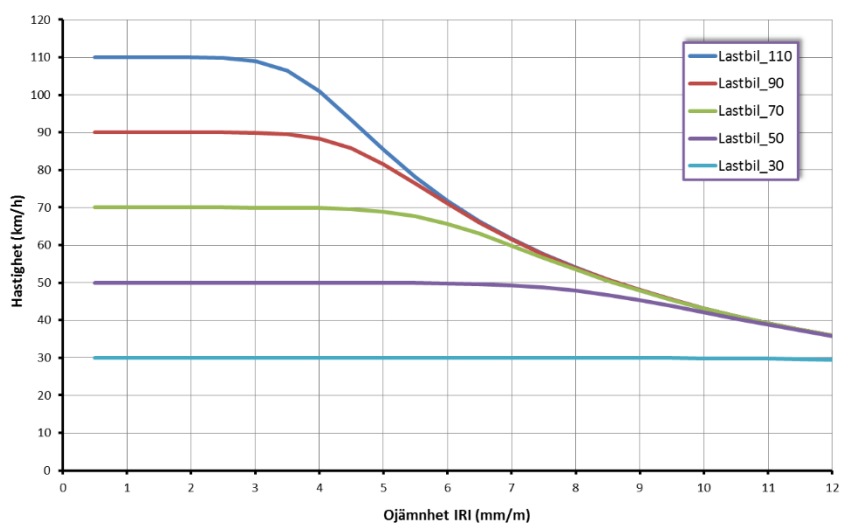
V	Hastighet
HG	Hastighetsgräns
LF	Laglydighetsfaktor

Laglydighetsfaktorn sätts till 1, vilket innebär att tidsvinster som beror på att trafikanter kör för fort inte medräknas.

Följande diagram beskriver hur hastigheten påverkas av vägytans längsgående ojämnheter, uttryckt med IRI (International Roughness Index, mm/m), för personbilar (Figur 3.1-6) och lastbilar (Figur 3.1-7)



Figur 3.1-6 Samband hastighet och ojämnhet för personbilar



Figur 3.1-7 Samband hastighet och ojämnhet för lastbilar

Tidsförlusten per km i timmar beräknas enligt:

$$\Delta\text{tid} = 1/V - 1/HG$$

Kostnaden för tidsförlust beräknas genom att utnyttja tidvärdering som hämtas från senast gällande ASEK- version.

3.1.5 Vägytans effekter på fordon

3.1.5.1 Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukning beror till stor del på rullmotståndet som i sin tur beror på egenskaper som textur och långsgående ojämnheter. Bränsleförbrukning påverkas också av fordonens egenskaper, (motor, luftmotstånd mm), typ av däck, kontaktryck liksom av vägens linjeföring. Det sistnämnda är givetvis svårt att påverka med drift och underhåll.

Ojämnheter i längsled och megatextur ger värmeförluster i dämpare och däck och därmed ökad bränsleförbrukning.

Makrotexturen, och kanske även mikrotexturen, har betydelse för rullmotståndet. Ju grövre textur desto större blir rullmotståndet. En grov makrotextur behöver dock inte vara entydigt negativ för rullmotståndet. Om det finns vatten på vägytan så åtgår mindre energi för att transportera bort vattnet från kontaktytan mellan däck och vägbana ju grövre makrotexturen är. Detta i sin tur innebär ett mindre rullmotstånd och en lägre bränsleförbrukning.

Rullmotståndet beror även på förekomst av vatten på vägen. Denna förekomst beror på spårdjup, tvärfall, kurvatur, backighet, megatextur dvs. egenskaper som försvårar vattenavrinningen, samt naturligtvis förekomst av vatten. Här påverkar även vattengenomsläppligheten hos beläggningen.

Snö och is på vägen påverkar rullmotståndet. Även denna förekomst beror på spårdjup, tvärfall, kurvatur, backighet, megatextur dvs. egenskaper som försvårar snö och halkbekämpning, samt naturligtvis förekomst av is eller snö. Bränsleförbrukning, liksom däckslitagets egenskaper och avgaser är naturligtvis starkt beroende av hastighet. Alla variabler som påverkar hastighet påverkar också dessa effekter. Inverkan av hastighet kan vara olika:

- En sänkt konstanthastighet medför att framdrivningsarbetet minskar och har en sänkande effekt på kostnaderna.
- Om hastighetsreduktionen är ett uttryck för acceleration/retardation behöver inte framdrivningsarbetet minska med minskande hastighet
- En sänkt hastighet i kombination med ändrat växelläge kan trots minskat framdrivningsarbete medföra att bränsleförbrukningen inte minskar. I alla fall där det står ett ”+” för restid och det handlar om ändrad hastighet med oförändrat växelläge borde det också finnas ett ”+” för bränsleförbrukningen.

Beräkning av bränsleförbrukning uppdelas här dels på beroende av långsgående ojämnheter, dels på beroende av vägytans textur.

3.1.5.2 Bränsleförbrukning beroende av långsgående ojämnheter

Bränsleförbrukning beräknas med en modell som baseras på bränslemodellen i HDM-4 (1:48).

Bränsleförbrukning beräknas genom att först beräkna rörelsemotståndet, FTR, och därefter bränsleförbrukningen, SFC. Den bränsleförbrukning som beräknas är den del som påverkas av långsgående ojämnheter och motsvarar inte den

faktiska där även exempelvis backighet påverkar. Rörelsemotståndet beräknas som:

$$FTR = FR + FA + FG + FCV$$

Där

FR=	Rullmotstånd
FA =	Luftmotstånd
FG =	Lutningsmotstånd (backighet)
FCV=	Kurvmotstånd

En förändring av längsgående ojämnheter påverkar inte luft-, lutnings- och kurvmotståndet direkt men indirekt genom att längsgående ojämnheter påverkar hastigheten. Samtidigt påverkar en vägs lutning och kurvatur hastigheten. Om man antar en rak, platt väg kan detta förenklas till:

$$FTR = FR + FA$$

$$FR = A + B * IRI + C * V^2 + D * IRI * V^2$$

$$FA = I * V^2$$

Baserat på rörelsemotståndet beräknas bränsleförbrukningen genom:

$$SFC = E * FTR + F * FTR^2 * V \quad (l/1000 \text{ fkm})$$

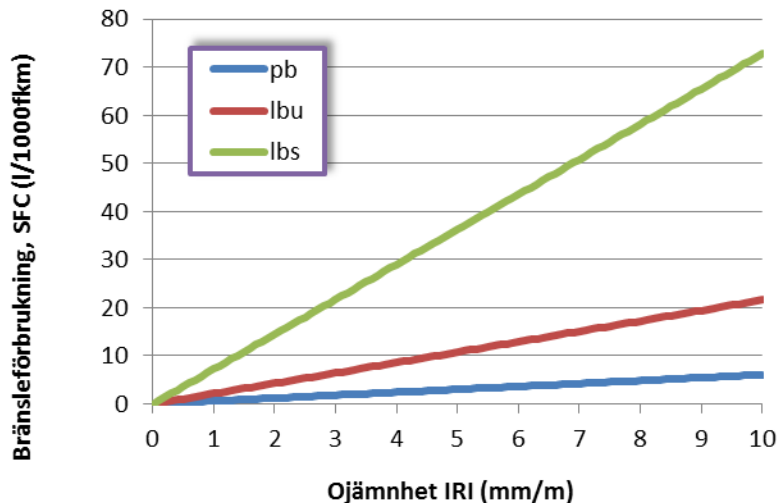
FTR	Rörelsemotstånd
SFC	Bränsleförbrukning (l/1000 fkm)
A, B, C, D, E, F, I	Konstanter som hämtas i tabell 3.1-1
IRI	International Roughness Index, Ojämnheter i längsled (mm/m)
V	Hastighet (m/s)

Konstanterna i ekvationerna ovan hämtas från nedanstående tabell.

Tabell 3.1-1. Dessa konstanter är härledda från bränslemodellen i HDM-4.

Tabell 3.1-1 Konstanter vid beräkning av hur ojämnheter inverkar på bränsleförbrukningen

	A	B	C	D	E	F	I
Personbil	223	5.2	0.14	0.003	0.074	0.000000295	0.53
Lastbil utan släp	812	27.1	0.08	0.003	0.066	0.000000077	2.03
Lastbil med släp	2863	95.4	0.25	0.008	0.064	0.000000025	5.27



Figur 3.1-8 Relativ bränsleförbrukning som funktion av vägens jämnhet för personbil (pb), lastbil utan släp (lbu) och lastbil med släp (lbs) då ingen hänsyn tas till hastighetsförändring.

Kostnader för bränsleförbrukning beräknas med uppgifter från senast gällande ASEK- version.

3.1.5.3 Däckslitage

Om rullmotståndet påverkas så påverkas även däckslitage.

Makro- och mikrotextur ger avverkande bearbetning av däck.

Backighet och kurvatur har extremt stor betydelse för däckslitage jämfört med övriga faktorer.

Däcken nöts av kanterna på spår, ju brantare kanter desto mer slitage (sidkraft och textur).

Längsgående ojämnheter och megatextur ger ökad uppvärmning av däcken och därmed högre slitage.

Tvärfallsförändringar innebär förändrad sidkraft vilket i sin tur ger förändrat däckslitage.

Lokala ojämnheter kan tänkas medföra risk för hårda inbromsningar vilket per sträckenhet ger ett dramatiskt däckslitage. I övrigt har de samma betydelse som ojämnheter generellt.

På en ren snö- eller isyta finns det ingen anledning att förvänta något däckslitage. Snö på vägen skulle därför eventuellt kunna innebära ett mindre däckslitage än vid barmark.

För att beräkna däckslitage beräknas först antalet regummeringar, NR, som bl. a beror på längsgående ojämnheter (IRI). Rörelsemotståndet beräknas enligt kapitel 1.1.5.1.1. Därefter beräknas antalet slitna däck, TC, per 1000 fkm.

$$NR = \text{MAX}[0, M * \text{EXP}(-0.03224 * IRI) - 1]$$

$$FTR = A + B * IRI + CV^2 + D * IRI * V^2 + I * V^2$$

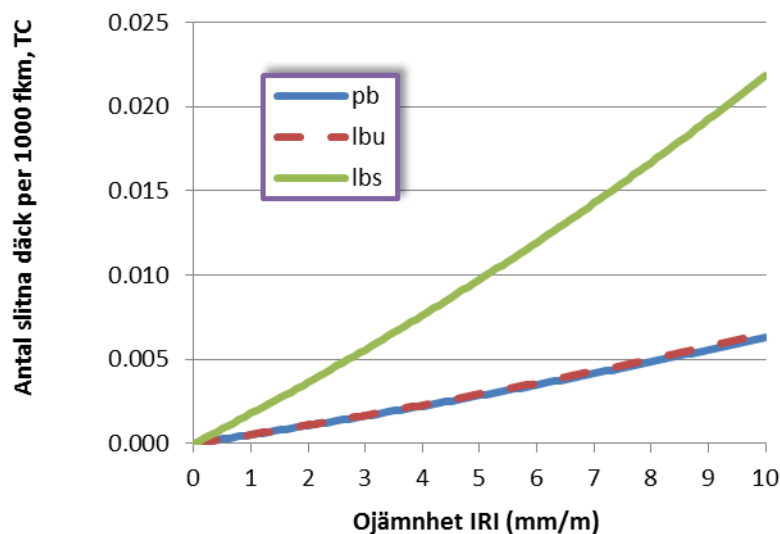
$$TC = N * \left(\frac{(H + J * FTR^2) * (1 + K * NR)}{L * (1 + NR)} + 0.0027 \right)$$

Där

NR	Antalet regummeringar
FTR	Rörelsemotstånd
A, B, C, D, E, F, I	Konstanter som hämtas i tabell 3.1-1
H, J, K, L, M	Konstanter som hämtas i Tabell 3.1-2
IRI	International Roughness Index, Ojämnheter i längsled (mm/m)
V	Hastighet (m/s)

Tabell 3.1-2 Konstanter vid beräkning av hur ojämnheter inverkar på däcksslitage

	H	J	K	L	M
Personbil	0.02616	4.33231E-08	0.15	1.4	1.4
Lastbil utan släp	0.02585	4.55318E-09	0.15	6	1.4
Lastbil med släp	0.03988	6.29015E-10	0.15	8	1.4



Figur 3.1-9 Relativt däcksslitage som funktion av vägens jämnhet för personbil(pb), lastbil utan släp (lbu) och lastbil med släp (lbs) då ingen hänsyn tas till hastighetsförändring.

Kostnader för däcksslitage beräknas med uppgifter senast gällande ASEK-version.

3.1.5.4 Reservdelsförbrukning

Reservdelsförbrukningen är en del av den totala fordonskostnaden och beror främst på fordonsålder (uttryckt i körsträcka) och vägens jämnhet. Ett exempel på förändring i reservdelsförbrukning som funktion av vägens jämnhet ges för personbilar i Figur 3.1-10.

Lokala ojämnheter kan göra att brottsgränsen passeras som följd av att man överraskas och inte hinner sänka hastigheten.

Is på vägen ger oftast upphov till vad som kan jämföras med förhållandevis kortvågiga ojämnheter. Bör därför ha samma betydelse som "vanliga" ojämnheter.

Beräkning av reservdelsförbrukning sker här i två steg. Först beräknas ett justerat ojämnhetsvärde och därefter reservdels förbrukning enligt nedanstående ekvationer. Det finns dessutom en påverkan från hastighetsförändringar, men detta är inte inkluderat.

$$RI_{adj} = \text{MAX} \left[IRI, \text{MIN} (3.25, 3 + 5.54 * 10^{-8} * IRI^{13}) \right]$$

$$PC = 0.4 * (O^P * (Q * 10^{-6} * R * 10^{-6} * RI_{adj}))$$

$$LH = S * PC^T$$

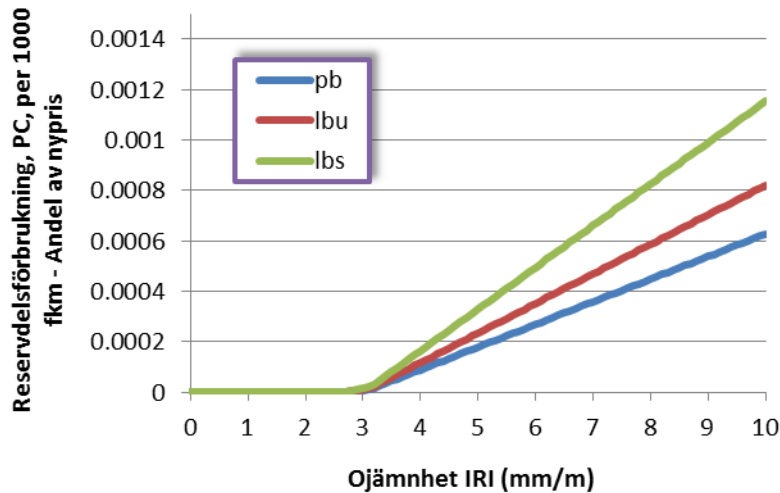
Där

RIadj	Justerad ojämnhet
PC	Reservdelsförbrukning
LH	Arbetstidkostnad för att reparera fordon
O, P, Q, R, S, T	Konstanter som hämtas i Tabell 3.1-3
IRI	International Roughness Index, Ojämnheter i längsled (mm/m)

Tabell 3.1-3 Konstanter vid beräkning av hur ojämnheter inverkar på reservdelsförbrukningen

	O	P	Q	R	S	T
Personbil	115000	0.308	36.94	6.2	77.14	0.547
Lastbil utan släp	240000	0.371	11.58	2.96	242.03	0.519
Lastbil med släp	602000	0.371	13.58	2.96	652.51	0.519

Nedanstående diagram visar den relativa förändringen av reservdelsförbrukningen. Diagrammen är framräknade med ekvationerna ovan men "nollade" så att det relativa däckslitaget är 0 då IRI=0.



Figur 3.1-10 Reservdelsförbrukning, PC, som funktion av vägens jämnhet

Kostnader för reservdelar beräknas genom att multiplicera PC och LH med nypriskostnad som hämtas från senast gällande ASEK – version.

3.1.5.5 Värdeminskning

Vägens jämnhet påverkar kapitalkostnaden främst på två sätt:

- fordonens restvärde
- fordonens värdeminskning

I nedanstående ekvation beräknas hur värdeminskningen av ett fordon påverkas av den långsgående ojämnheten. I ekvationen tas hänsyn till fordonens restvärde.

$$DEP = \frac{1000 * (1 - 0.01 * MAX[2,15 - MAX(0, IRI - 5)]) * (1 + EXP(-65.8553 * RI_{adj}^{-1.9194}))}{U * V}$$

där

RI_{adj} Justerad ojämnhet

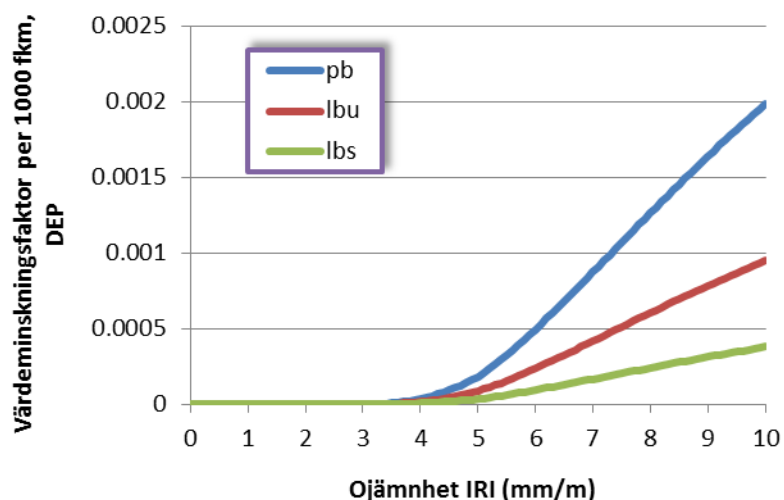
U, V Konstanter som hämtas i Tabell 3.1-4

IRI International Roughness Index, Ojämnheter i längsled (mm/m)

Tabell 3.1-4 Konstanter vid beräkning av hur ojämnheter inverkar på värdeminskningen

	U	V
Personbil	23000	10
Lastbil utan släp	40000	12
Lastbil med släp	86000	14

Nedanstående diagram visar den relativa förändringen av värdeminskningen. Diagrammen är framräknade med ekvationerna ovan men "nollade" så att den relativa värdeminskningen är 0 då IRI=0.



Figur 3.1-11 Värdeminskning som funktion av vägens jämnhet

Kostnaden för värdeminskning beräknas genom att multiplicera DEP med nypriskostnad som hämtas från senast gällande ASEK- version.

3.1.6 Vägytans inverkan på externt buller

Buller genereras främst från däckkontakten med vägytan samt från kraftöverföringen i fordon. Korrektioner behöver göras för olika typer av och tillstånd för beläggningar. Men det buller kringboende exponeras för kräver ytterligare information om befolkningstäthet, geografin i området, körbeteenden och väder och vind.

Fordonsbuller är sammansatt av buller från drivenhet och bildäck. Det senare kallas däck/vägbanebuller. Däck/vägbanebullret dominera över en viss gränshastighet. Denna varierar beroende på körsätt och fordonets typ och årsmodell, men ligger normalt i intervallet 20-55 km/h. Inverkan av fordonets årsmodell beror främst på att nationella och internationella bullergränsvärden har tvingat ner drivenhetsbullret för nya fordon sedan dessa gränsvärden infördes i början av 70-talet, medan ingen motsvarande begränsning av däck/vägbanebullret har införts. Nya bestämmelser om godkännande av däck med avseende på däck-/vägbanebuller och väggrepp på vått underlag och/eller rullmotstånd har dock beslutats och införs 2012¹.

3.1.6.1 Beläggningars inverkan på trafikbulleremissionen

¹ Föreskrifter nr 117 från Förenta nationernas ekonomiska kommission för Europa (FN/ECE) – Enhetliga bestämmelser om godkännande av däck med avseende på däck-/vägbanebuller och väggrepp på vått underlag och/eller rullmotstånd

En stor del av bullret från vägtrafiken alstras genom bildäckens kontakt med vägytan och därför har beläggningsens utformning och aktuella tillstånd stor betydelse för bullernivån. Olika beläggningstyper har olika bulleralstrande egenskaper och dessa egenskaper förändras under beläggningsens nedbrytning vid trafikering. Val av beläggning kommer därför att ha betydelse för bulleremissionen från belagda vägytor. Allmänt kan sägas att en mindre stenstorlek normalt ger lägre bulleremission för varje beläggningstyp. Det är också väl känt att hålrumsrika beläggningar, ofta benämnda dränerande eller lågbullrande beläggningar, har en ljuddämpande förmåga som ger lägre bulleralstring. Vanligen avtar den bullerdämpande förmågan över tiden i hålrumsrika beläggningar eftersom de ljuddämpande hålrummen minskar, dels genom efterpackning och slitage, och dels att de sätts igen.

3.1.6.2 Livslängder, drift och underhåll

Användning av mindre stenstorlek kommer att minska livslängden hos beläggningar som ligger på hög- och medeltrafikerade vägar eftersom dubbtrafiken kommer att ge ett ökat spårslitage. När det gäller lågbullrande, hålrumsrika beläggningar visar erfarenheterna hittills att de har kortare livslängd än täta beläggningar. Som ovan nämnts avtar också den akustiska livslängden för lågbullrande beläggningar, dvs den bullerdämpande förmågan avtar. Förhållandet för beläggningar med grov yttextur, t ex ytbehandlingar typ YB, är vanligen det motsatta. Genom trafikens slitage på beläggningar med grov positiv textur minskar beläggningsens bulleremission.

Lågbullrande beläggningar med höga hålrumshalter kräver ett ändrat program för vinterdrift jämfört med täta beläggningar. Eftersom de är hålrumsrika kräver de en större saltgiva för att saltet skall ge samma effekt som på täta beläggningar. Det kan också vara befogat att bedriva en något försiktigare snöröjning på lågbullrande beläggning för att motverka förtida nedbrytning. I syfte att bibehålla den akustiska livslängden är det också nödvändigt att rensa hålrumsrika beläggningar från slitagerester och andra partiklar, med hjälp av t ex högtryckspolning av beläggningsytan med bestämda intervaller. Detta gäller särskilt vid låga fordonshastigheter då den självrensande effekten är relativt låg.

3.1.6.3 Behov av bullerdämpande åtgärd

Behov av minskat buller med anpassad beläggning bör analyseras med beräknade bullernivåer vid bostäder och skolor. Om den beräknade ekvivalenta bullernivån är högre än 55 dBA bör minskad stenstorlek övervägas.

3.1.6.4 Val av åtgärd

Trafikverket har beräknade bullervärden för bostäder och skolor längs statliga vägar. Om tillräckligt många bostäder har över ekvivalenta bullernivån högre än 55 dBA kan merkostnaden för minskad stenstorlek vara samhällsekonomiskt lönsamt. Detta beräknas i VägBuse.

Aktuell version finns här:

<https://www.trafikverket.se/vagbuse>

[Beräkna och utreda buller och vibrationer - Bransch \(trafikverket.se\)](http://trafikverket.se)

För att rationellt kunna finna lämpliga vägsträckor där behovet av minskat buller är stort samt möjligt med hänsyn till hållbarhet finns ett GIS-lager med drygt 1400 vägsträckor. GIS-lagret finns redovisat i PMS-beläggning samt i den interna applikationen "Bullerreducerande kandidater ABS11".

Läs mer under: [Anpassade beläggningar för minskat buller \(trafikverket.local\)](http://trafikverket.local)

Tabell 3.1-5 Vägbelägningars bullerpåverkande egenskaper, uttryckt som korrektion till "normal-värde" för referensbeläggning av typ ABS16 (1:55). Minustecken innebär lägre bullernivå.

Vägbeläggning			Korrektionsterm i dB(A) för hastighetsintervall samt andel (%) tunga fordon							
Nr.	Typ (här anges även max. stenstorlek)	Ålder [år]	40-60 km/h			61-80 km/h			81-130 km/h	
			0-5 %	6-19	20-100	0-5 %	6-19	20-100	0-5%	6-100
1a.	Skelettasfalt (ABS) (max 13-16 mm)	1-20	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref
1b.	D:o, nylagd	<1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1
2a.	Skelettasfalt, stenrik (ABS) (max 10-12 mm)	1-20	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1
2b.	D:o, nylagd	<1	-2	-1	-1	-3	-1	-1	-3	-2
3a.	Skelettasfalt, stenrik (ABS) (max 7-9 mm)*	1-20	-2	-1	-1	-3	-2	-1	-3	-2
3b.	D:o, nylagd*	<1	-3	-2	-2	-4	-3	-2	-3	-3
4a.	Skelettasfalt, stenrik (ABS) (max 4-6 mm)	1-20	-3	-2	-1	-4	-4	-2	-4	-2
4b.	D:o, nylagd	<1	-4	-3	-2	-5	-5	-3	-5	-3
5a.	Asfaltbetong, tät, ABT (max 13-16 mm)	1-20	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0
5b.	D:o, nylagd	<1	-2	-1	-1	-3	-2	-1	-3	-2
6a.	Asfaltbetong, tät, ABT (max 10-12 mm)	1-20	-2	-1	0	-2	-2	-1	-2	-1
6b.	D:o, nylagd	<1	-3	-2	-1	-3	-3	-2	-3	-2
7a.	Asfaltbetong, tät, ABT (7-9 mm)	1-20	-3	-2	-1	-3	-2	-1	-3	-2
7b.	D:o, nylagd	<1	-4	-3	-2	-4	-3	-2	-4	-3
8.	Slurry Seal + andra extremt tunna beläggn.	0-5	-3	-2	-1	-3	-2	-1	-3	-1
9.	Tunnskiktbeläggn: Se motsvarande ABS									
10.	Bituminiserad chipsten (BCS), max 13-20	0-20	+1	+1	0	+2	+2	+1	+2	+2
11a.	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 16-20 mm	1-20	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0
11b.	D:o, nylagd	<1	+2	+1	0	+2	+1	-1	+2	+1
12a.	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 10-12 mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0
12b.	D:o, nylagd	<1	0	0	0	0	0	0	0	0
13a.	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 6-9 mm	1-20	-1	0	0	-2	-1	0	-2	0
13b.	D:o, nylagd	<1	-2	0	0	-2	-1	-1	-2	-1
14a.	Ytbehandling, dubbel (Y2B), max 16-20 mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0
14b.	D:o, nylagd	<1	0	0	-1	0	0	-1	0	-1
15a.	Ytbehandling, dubbel (Y2B), max 10-12 mm	1-20	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
15b.	D:o, nylagd	<1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0
16a.	Dränasfalt HABD hålrum 18-21%,14-16 mm	<1	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
16b.	D:o, 1-2 år	1-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-2

16c.	D:o, 3-7 år	3-7	0	0	0	0	0	0	-1	-1
17a.	Dränasfalt HABD hålrum 22-27%,14-16 mm	<1	-4	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4
17b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-3
17c.	D:o, 3-7 år	3-7	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	-2
18a.	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%,10-13 mm	<1	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4
18b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	0	-2	-2	-2	-4	-3
18c.	D:o, 3-6 år	3-6	-1	0	0	-1	-1	-1	-3	-2
19a.	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%,10-13 mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
19b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-4	-4
19c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3
<i>Vägbeläggning</i>			Korrektionsterm i dB(A) för hastighetsintervall samt viss andel (%) tunga fordon							
Nr.	Typ (här anges även max. stenstorlek)	Ålder [år]	40-60 km/h			61-80 km/h			81-130 km/h	
			0-5 %	6-19	20-100	0-5 %	6-19	20-100	0-5%	6-100
20a.	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%,7-9 mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
20b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	-1	-3	-2	-2	-4	-3
20c.	D:o, 3-5 år	3-5	-1	0	0	-3	-1	-1	-3	-2
21a.	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%,7-9 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-5	-6	-5
21b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-2	-4	-4	-3	-4	-3
21c.	D:o, 3-5 år	3-5	-2	-1	0	-3	-2	-2	-3	-2
22a.	Dubbel HABD, hålrum 18-21%,10-13/16 mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
22b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-5	-4
22c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	0	-2	-2	-2	-3	-2
23a.	Dubbel HABD, hålrum 22-27%,10-13/16 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-7	-6
23b.	D:o, 1-2 år	1-2	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4
23c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-2
24a.	Dubbel HABD, hålrum 18-21%,7-9/16 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-6	-6
24b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
24c.	D:o, 3-5 år	3-5	-1	-0	0	-1	-1	-1	-1	-1
25a.	Dubbel HABD, hålrum 22-27%,7-9/16 mm	<1	-7	-6	-5	-7	-7	-7	-7	-7
25b.	D:o, 1-2 år	1-2	-4	-3	-3	-5	-5	-5	-4	-4
25c.	D:o, 3-5 år	3-5	-2	-1	0	-2	-2	-2	-1	-1
26.	Gummi-asfalt. Tät (GAP)									
27.	Gummi-asfalt. Öppen (GAO)									
28.	Cementbetong, tät, slät, max 20-80 mm	0-40	+1	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2
29.	Cementbetong, tät, slät, max 12-18 mm	0-40	0	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2
30a.	Cementbetong, frilagd bal., max 22 mm	2-10	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
30b.	D:o, nylagd	<2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
31a.	Cementbetong, frilagd bal., max 11-16 mm	2-10	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
31b.	D:o, nylagd	<2	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3
32a.	Cementbetong, frilagd bal., max 7-9 mm	2-10	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-3	-2
32b.	D:o, nylagd	<2	-3	-2	-2	-3	-3	-2	-4	-3
33.	Cementbetong, slipad (slipning ej sliten)	0-5	-3	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-1
34.	Gatsten, kullersten & storgatsten	0-90	+6	+5	+4	+6	+6	+5	+6	+6
35.	Gatsten, traditionell sten ca 10x10 cm	0-90	+3	+3	+2	+4	+4	+3	+4	+4
36.	Gatsten, förbättrad sten enl Cph-typ	0-90	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2
37.	Cementblocksten, normal	0-10	+2	+2	+2	+3	+3	+3	+3	+3

38.	Cementblocksten, bästa typ	0-10	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
-----	----------------------------	------	----	---	---	----	---	---	----	---

* Referensväggyta enligt ISO 10844 (använd för fordonsbullerprovning m m) motsvaras av beläggning nr 3 ovan.

Källa:Titel: Råd för val av beläggning med hänsyn till miljö.Publikation:
2009:124Utgivningsdatum: September 2009 Utgivare: Vägverket
Kontaktperson: Pereric Westergren Tryck: Endast digital ISSN: 1401-9612

3.1.7 Vägytans inverkan på avgaser

Avgaser har i huvudsak samma förklaringsvariabler som bränsleförbrukning

Emission av CO₂ är uppskattad som 2.36 kg CO₂/liter bränsle.

Bränsleförbrukningen beroende av vägyta (längsgående ojämnheter och textur) beräknas enligt avsnitt 3.1.9.2. Kostnaden för CO₂ emission hämtas från senast gällande ASEK- version.

3.1.8 Vägytans inverkan på saltförbrukning

En spårig eller i övrigt ojämn beläggingsyta anses allmänt medföra konsekvenser för vinterväghållningens effektivitet och kostnader. Effektiviteten av plognings- och saltningsåtgärder minskar på grund av att plogskären kommer åt is och snö på vägytan in mindre utsträckning och efter saltning kvarstår det mer modd på vägytan. Många hävdar också att mer salt måste användas på spåriga vägar för att erhålla snö- och isfri vägbana.

3.1.9 Vägytans inverkan på partiklar

I vägområdet finns partiklar med olika ursprung, t ex partiklar från omgivande markområden och industrier, men också framför allt från vägtrafiken och från vägens drift och underhåll, t ex i form av sandningssand. Vägtrafikens bidrag till partiklar i utomhusluften är väsentligt. En dominerande del av dessa partiklar (mätt som massan av inandningsbara partiklar, PM₁₀) i vägnära miljöer kommer från slitage och uppvirvling av partiklar som skapats av interaktionen mellan fordonsdäck och vägbeläggning under vinterhalvåret. Huvuddelen av slitagepartiklarna finns i storleksfraktionen från 0,5 µm och uppåt.

Produktionen av slitagepartiklar bestäms bland annat av följande faktorer:

- dubbdäcksandel,
- stenmaterialet slitstyrka och största stenstorlek,
- fordonshastigheten,
- väderlek

Partiklar i allmänhet har koppling till olika former av besvär, sjukdom och förtida död i befolkningen och det finns inte någon säkerställd nedre haltgräns under vilken effekter inte uppkommer. Grovfraktionen av PM₁₀, dit slitagepartiklar från vägbaneslitage hör, har visats ha en koppling till negativa effekter på människans hälsa, och höga halter bidrar bland annat till fler öppenvårdsbesök för astma och fler sjukhusinläggningar för luftvägssjukdomar.

Halterna av inandningsbara partiklar (PM₁₀) och en mindre fraktion (PM_{2,5}) är reglerade i direktivet 1999/30/EG och införda i direktivet 2008/50/EG om luftkvalitet och renare luft i Europa. De gränsvärden som anges i direktivet har delvis införts i svensk lagstiftning i Förordningen om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft (SFS 2001:527) och en ny förordning som även innehåller normer för fina partiklar (PM_{2,5}) är på gång att införas. De halter (PM₁₀) som anges i normen är:

- 50 µg/m³ som dygnsmedelvärde (90-percentil²)
- 20 µg/m³ som årsmedelvärde

² Får överskridas max 7 dygn per år.

Dessa värden gäller bl.a. för byggande och vid drift och underhåll av vägar och gator. Det är fram för allt gränsvärdet per dygn ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) som är problematiskt att klara i smala gaturum och vid trafikleder med stor trafikmängd.

Myndigheterna skall säkerställa att inte tillstånd ges (arbetsplan) som motverkar ett uppfyllande av kraven. Normala drift- och underhållsåtgärder är tillåtna inom områden där miljö kvalitetsnormerna överträds, men de får inte leda till att möjligheterna att klara normen försämras, utan snarare underlättas. Förutom dessa lagreglerade halter i form av miljö kvalitetsnormer finns nationella miljömål för partiklar (PM_{10}) samt för en mindre fraktion ($\text{PM}_{2,5}$), som även den till viss del påverkas av partiklar från vägbaneslitage och uppvirvling. Dessa miljömål överskrids idag i de flesta vägnära miljöer. De nationella målen för partiklar är:

- $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som dygnsmedelvärde (PM_{10} ; 90-percentil³)
- $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmedelvärde (PM_{10})
- $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som dygnsmedelvärde (PM_{10} ; 90-percentil⁴)
- $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmedelvärde (PM_{10})

3.1.9.1 Beläggningars inverkan på partikelemissionen

Fordonstrafiken på gator och vägar ger upphov till slitage, bl. a. av vägbanan och spridning av partiklar. Emissionen av partiklar ökar med ökande trafik, ökande hastighet och emissionens påverkan på partikelhalten i luften avklingar med ökande avstånd till vägen. Andel av trafiken som använder vinterdäck med dubbar under vinterhalvåret påverkar partikelemissionen väsentligt. Till skillnad från emissionen av buller ökar emissionen av partiklar med minskande stenstorlek i beläggningen.

Då beläggningsslitaget är den viktigaste källan till partiklar i gaturummet vintertid är beläggningens benägenhet att bilda PM_{10} vid slitage viktig. Det finns idag inga helt säkerställda mått på denna egenskap. Studier av partiklar från dubbdäcksslitage med en provvägsmaskin på VTI visar dock att partikelhalterna vid användning av olika beläggningstyper skiljer sig rejält från varandra. I laborativa försök i provvägsmaskin gav en ABT med en lokal granit ca 3-4 gånger så höga koncentrationer av PM_{10} som en ABS med kvartsit (Gustafsson m.fl., 2005). En annan kvartsitbeläggning med kvartsit från ett annat stenbrott och med något större stenstorlek (16 mm i stället för 11 mm) gav högre PM_{10} koncentrationer vilket indikerar att materialvalet är viktigare än stenstorleken vad gäller dammbildning. Även mobila mätningar i Sverige tyder på att olika typer av asfalt ger olika emissioner (Hussein et al., 2007). Dessa resultat från mobila mätningar och provvägsmätningar av PM_{10} -emissionen och produktionen ligger väl i linje med mätningar av hur det totala vägslitaget vid dubbdäcksanvändning beror på stenmaterialet (Jacobson & Wågberg, 2004). Sambandet mellan totalt beläggningsslitage och emissionen av inandningsbara partiklar används för beräkning av emissioner av PM_{10} i dessa råd. De exakta kvantitativa sambanden mellan PM_{10} -halterna längs vägarna och olika faktorer såsom stenmaterial, maximal stenstorlek, stenhalt och fordonshastighet är dock

³ Får överskridas max 35 dygn per år.

⁴ Får överskridas max 35 dygn per år.

inte säkerställda. Klart är dock att större slitage leder till ökad generering av finare partiklar. Därmed kan det behövas en avvägning av stenmax i en beläggning för att optimera emissionen av partiklar och buller.

Vid val av beläggning bör hänsyn tas till människor som vistas i vägens omgivning och som exponeras av partiklar från slitage av vägbeläggning i enlighet med de bestämmelser som gäller och i övrigt när det är samhällsekonomiskt lönsamt. Frågor som bör besvaras är om luftkvaliteten en relevant fråga i detta projekt och om vald beläggning innebär förbättringar eller försämringar ur partikelsynpunkt. Bor eller vistas människor stadigvarande nära gatan eller vägen? Hur många människor berörs?

3.1.9.2 Beräkning av emissioner

Enligt förhandsbesked från VTI avseende emission av partiklar från körningar med dubbdäck på olika beläggningstyper i provvägsmaskin kan mängden fina partiklar, PM₁₀, preliminärt anses utgöra ca 5 % av den totalt bortslitna mängden.

Enligt VTI's utredning, "Lågbullrande asfaltbeläggning – omräkningsfaktorer för nötningsresistens hos slitlager", beräknas dubbdäcksslitaget för en referensbeläggning typ ABS16 med 70 % material > 4 mm och kulkvarnsvärde = 7 vara 3,4 g/fordonskilometer och fordon med dubbdäck. Dubbdäcksslitaget från andra beläggningstyper kan beräknas med hjälp av VTI's sammanställning av omräkningsfaktorer för dubbdäcksslitage som framgår av Tabell 3.1-7 och dubbdäcksfrekvenser i procent på helår framgår av Tabell 3.1-6.

Följande formel kan användas för att beräkna emission av PM₁₀ partiklar per genomsnittligt fordon.

$$E_{PM10} = DD/100 * 3,4 * 1000 * P_{PM10}/100 * RS$$

där

- E_{PM10} = Emission av PM₁₀ i milligram per fordonskilometer
- DD = Dubbdäcksfrekvens i % räknat på helår (tas från Tabell 3.1-7)
- P_{PM10} = Procentuell andel av bortsliten mängd (sätts till 5 % här)
- RS = Relativt slitage (tas från Tabell 3.1-6)

E_{PM10} tas fram för såväl referensbeläggningen (Stenrik asfaltbetong, ABS16, kulkvarnsvärde (kk) 7) som för den alternativa beläggningen.

Dubbdäcksfrekvensen varierar över landet och är högst i norr och lägst i söder (Tabell 3.1-6). Dubbräkning utförd i Stockholmsområdet visar att dubbanvändningen normalt börjar i oktober-november och avslutas i mitten av maj. En överslagsberäkning från mätningar i Stockholmsområdet visar att trafikarbetet med dubbanvändning motsvarar 5,2 månader med maximal dubbanvändning för regionen. Med antagandet att dubbanvändningsperioden är ungefär lika lång i hela landet kan de årliga dubbfrekvenserna regionalt uppskattas (Tabell 3.1-6). Om användaren har mer exakta siffror går det givetvis bra att använda dem i stället.

Tabell 3.1-6 Uppmätt andel i respektive region som körde med dubbdäck kvartal 1 2011

Trafikverksregion	Dubbdäcksanvändning	Dubbfrekvens för helår
Syd	49.6%	21.5%
Väst	62.9%	27.3%
Öst	69.6%	30.2%
Stockholm (ej Gotland)	65.3%	28.3%
Gotland	75.2%	32.6%
Mitt	85.7%	37.1%
Norr	93.0%	40.3%

3.1.9.3 Beräkning av halter

Efter att trafikmängd och emissionsfaktor bestämts beräknas det lokala haltbidraget med hjälp av nomogram⁵. Nomogrammen avser trafik på öppen väg respektive i gaturum.

Gaturum innebär gata i en tätort som omges av byggnader på en eller båda sidorna av gatan⁶.

Öppen väg anses föreligga i övriga fall, d.v.s. spridd bebyggelse eller helt öppen terräng.

I Figur 3.1-12 och Figur 3.1-13 visas nomogrammen för PM10 halter ⁷. Från dessa fås haltbidraget C från slitaget av beläggningen.

Tabell 3.1-7 Sammanställning över omräkningsfaktorer för dubbdäcksslitage.

Beläggning/Kulkvarnsvärde	Hastighet/Relativt slitage			
	50 km/h	70 km/h	90 km/h	110 km/h
ABS 22, kk 7	0,5	0,7	0,9	1,1
ABS 16, kk 7 1/	0,7	1,0	1,3	1,7
ABS 11, kk 7	0,9	1,3	1,7	2,1
ABS 8, kk 7	1,1	1,5	1,9	2,4
ABS 22, kk 10	0,7	1,0	1,4	1,7
ABS 16, kk 10	1,0	1,4	1,8	2,3
ABS 11, kk10	1,2	1,6	2,2	2,7
ABS 8, kk 10	1,3	1,8	2,4	3,0
ABS 22, kk 14	1,1	1,5	2,0	2,5
ABS 16, kk 14	1,3	1,8	2,4	3,1
ABS 11, kk 14	1,5	2,1	2,8	3,5
ABS 8, kk 14	1,7	2,3	3,0	3,8
ABT 22, kk 7	0,7	0,9	1,3	1,6
ABT 16, kk 7	0,9	1,3	1,7	2,1
ABT 11, kk 7	1,1	1,6	2,1	2,6
ABT 8, kk 7	1,3	1,7	2,3	2,9
ABT 22, kk 10	0,9	1,3	1,7	2,2

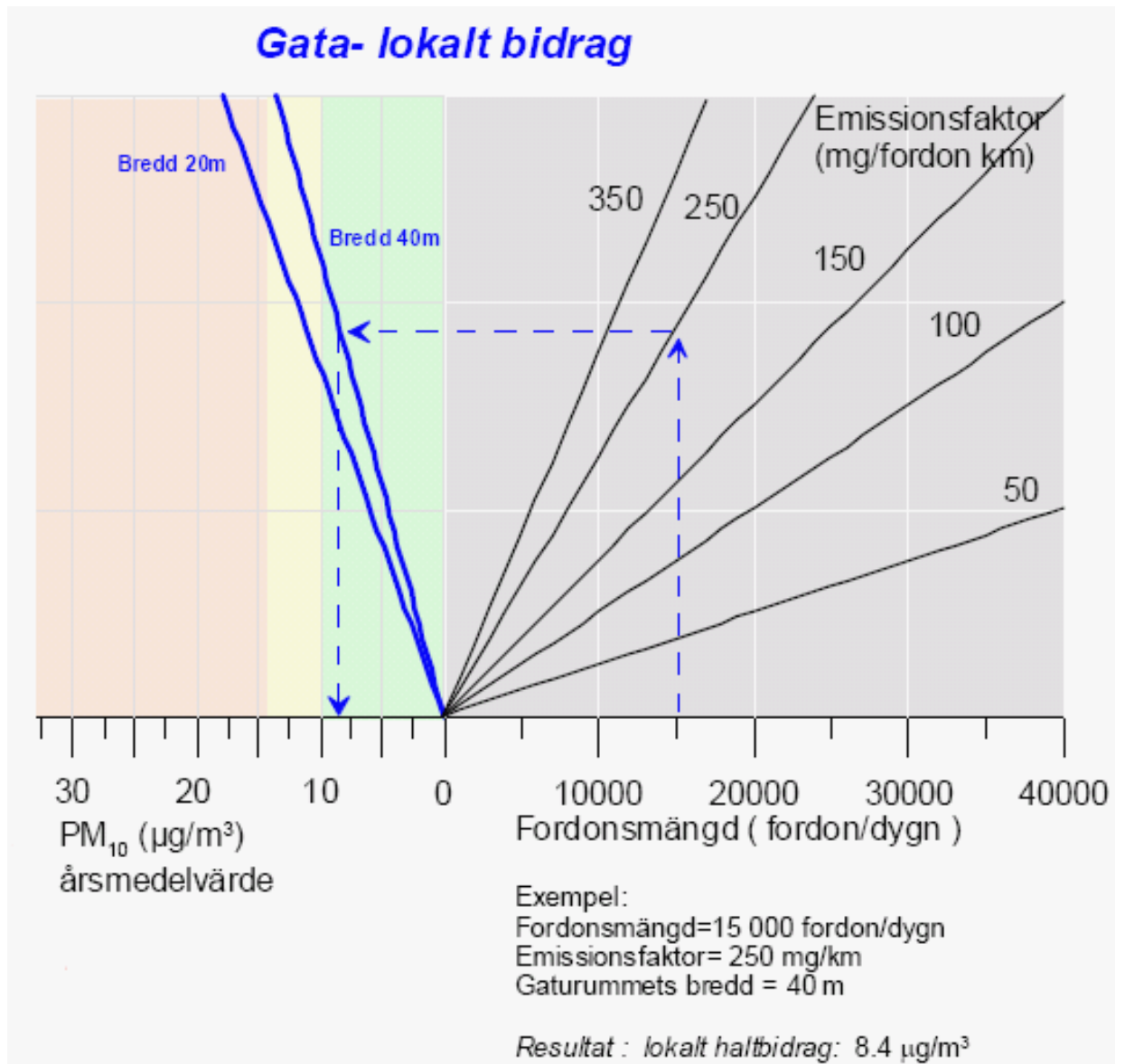
⁵ Som alternativ kan man använda en spridningsmodell, t.ex. SIMAIR: www.luftkvalitet.se

⁶ Definition av gaturum och öppen väg enligt Referenslaboratoriet för tätortsluft

⁷ Källa: "Nomogram för uppskattning av halter av PM10 och NO2" (SMHI nr 102 2001, reviderad version december 2004, www.luftkvalitet.se).

ABT 16, kk 10	1,2	1,6	2,2	2,7
ABT 11, kk10	1,4	1,9	2,6	3,2
ABT 8, kk 10	1,5	2,1	2,8	3,5
ABT 22, kk 14	1,3	1,8	2,4	2,9
ABT 16, kk14	1,5	2,1	2,8	3,5
ABT 11, kk14	1,7	2,4	3,2	4,0
ABT 8, kk14	1,9	2,6	3,4	4,3
ABD 16, kk 7	0,6	0,9	1,1	1,4
ABD 11, kk 7	0,8	1,1	1,5	1,9
ABD 16, kk 10	0,9	1,2	1,6	2,0
ABD 11, kk 10	1,1	1,5	2,0	2,5
ABD 16, kk 14	1,2	1,7	2,3	2,8
ABD 11, kk 14	1,4	2,0	2,6	3,3
Y1B 11-16, kk 7	0,6	0,9	1,1	1,4
Y1B 8-11, kk 7	0,8	1,1	1,5	1,9
Y1B 4-8, kk 7	1,0	1,3	1,8	2,2
Y1B 11-16, kk 10	0,9	1,2	1,6	2,0
Y1B 8-11, kk 10	1,1	1,5	2,0	2,5
Y1B 4-8, kk 10	1,2	1,7	2,2	2,8

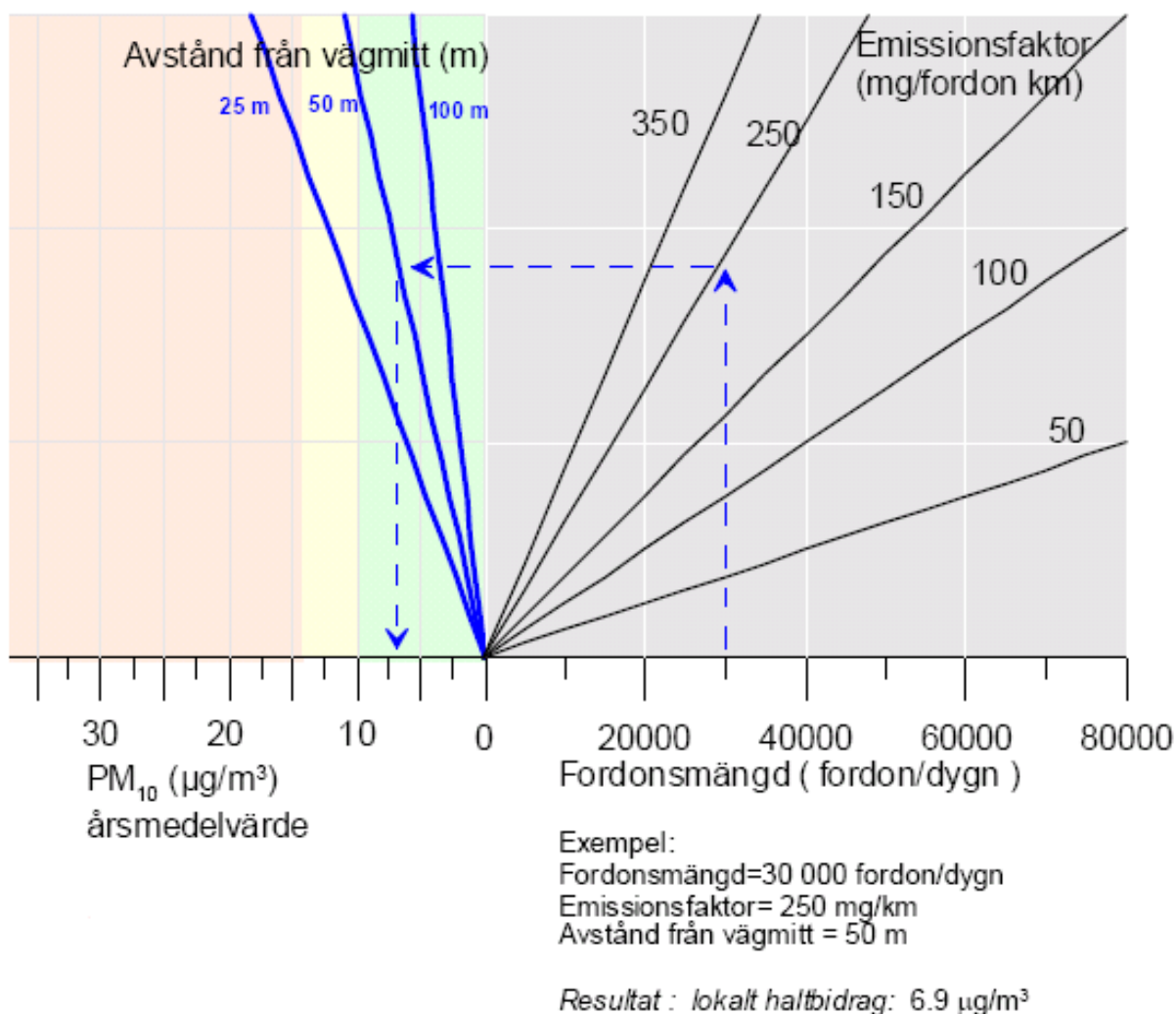
1/ Referensbelägning



Vid små trafikmängder rekommenderas att skala upp trafiken med en faktor och när haltbidraget erhållits skala ner detta med samma faktor.

Figur 3.1-12 Nomogram för beräkning av lokala bidrag från gaturum till årsmedelhalter av PM₁₀ (µg/m³)

Väg- lokalt bidrag



Vid små trafikmängder rekommenderas att skala upp trafiken med en faktor och när haltbidraget erhållits skala ner detta med samma faktor

Figur 3.1-13 Nomogram för beräkning av lokala bidrag från öppen väg till årsmedelhalter av PM10 (µg/m³).

3.1.9.4 Beräkning av exponering

Exponeringen beräknas som produkten av antalet personer och halten. För beräkning av antalet personer som berörs kan bullerberäkningsmodellen användas. Antalet personer i villor och hyreshus som berörs beräknas genom att multiplicera antalet villor och hyreshus på respektive avstånd från vägmitt med angivna schablonvärden. Halten varierar för olika avstånd och produkterna summeras sedan.

$$Exp = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot B_i$$

Där C_i är haltbidraget från slitaget och B_i befolkningen på avståndet från vägens mitt. Halten avtar med avståndet från vägen och exponeringsbidraget minskar.

Har man tillgång till en spridningsmodell kan man här göra relativt noggranna beräkningar och också ta med bidraget relativt långt från vägen. Om nomogram används får man dock göra en förenkling. För ett gaturum beräknar vi exponeringen enligt

$$Exp_{gaturum} = C_G \cdot B_G$$

Där C_G är haltbidraget från slitaget och B_G befolkningen i gaturummet för en given delsträcka. Den givna delsträckan skall ha likartade förhållanden och samma halt.

För en öppen väg beräknar vi exponeringen med nomogrammetoden enligt

$$Exp_{väg} = C_{25} \cdot B_{0-50} + \frac{(C_{50} + C_{100})}{2} \cdot B_{50-100} + \frac{C_{100}}{2} \cdot B_{100-500}$$

Där C_{25} är haltbidraget från slitaget på avståndet 25 meter och B_{0-50} är befolkningen i zonen 0-50 meter från vägmitt för en given delsträcka. Den givna delsträckan skall ha likartade förhållanden och samma halt.

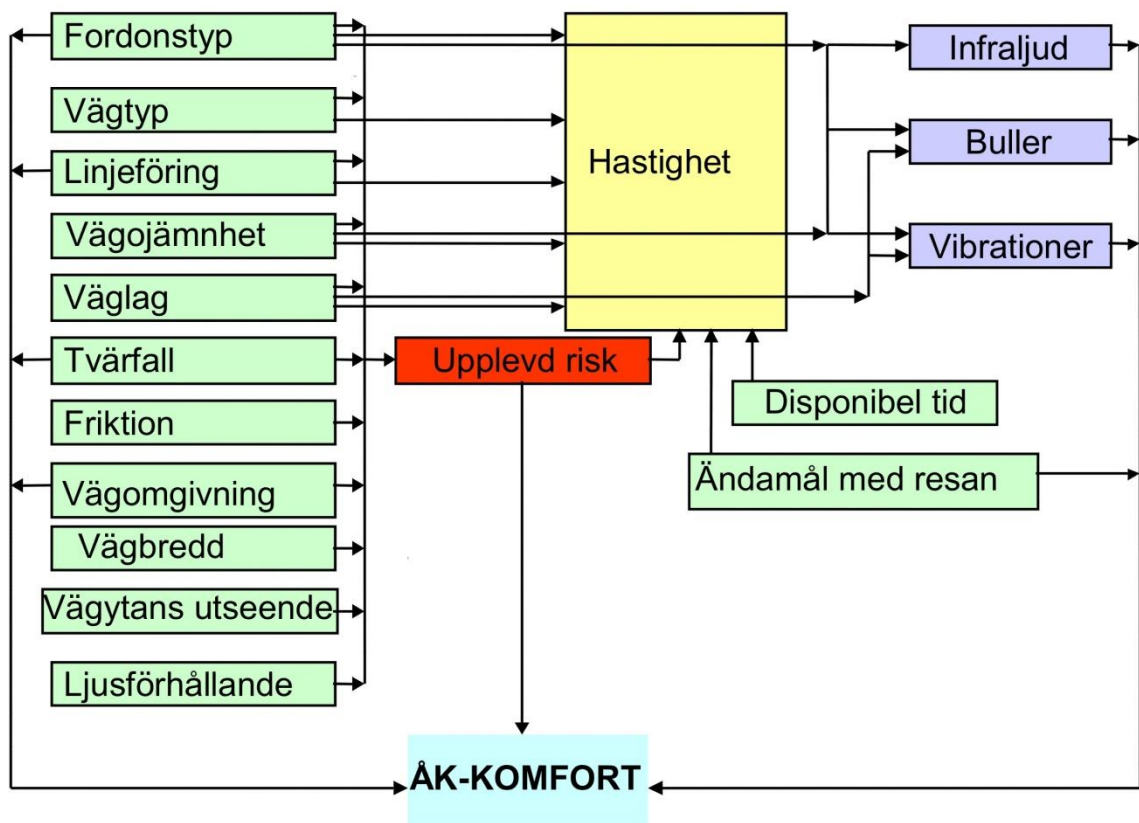
För en längre sträcka summeras sedan exponeringen för olika delsträckor.

$$Exp_{total} = Exp_{gaturum1} + Exp_{gaturum2} + Exp_{gaturum3} + \dots + Exp_{väg1} + Exp_{väg2} + Exp_{väg3} + \dots$$

3.1.10 Vägytans effekter på komfort

Det är viktigt att beakta vad man lägger in i begreppet komfort. Exempel på definitioner är "angenäm och praktisk bekvämlighet" (National Encyklopedin) samt "subjektivt tillstånd av trygghet och välmående" (Johan Granlund, VV konsult). Resultaten från en litteraturstudie av Alm (Alm, 1989) tyder på att det är otillräckligt att betrakta komfort som enbart en reaktion på fysiska stimuli. Man bör istället ta reda på vad trafikanterna uppmärksammar i vägmiljön och vilka faktorer som kan minska/öka komfortupplevelsen under biltransporten.

För några år sedan gjordes ett försök att beskriva vilka faktorer som kan vara av betydelse för komforten och hur, dvs. en skiss på en komfortmodell (se nedanstående schema). Av schemat framgår att de faktorer som primärt styr förarens (och i viss mån passagerarens) komfortupplevelse är vägens egenskaper, fordons typ och egenskaper samt ljusförhållandena under färden.



Figur 3.1-14 Komfortupplevelsens element och dessas samband (källa: Georg Magnusson, VTI).

Fordonets typ och egenskaper

Personbil: sedan, kombi eller sportmodell.

Lastbil: storlek, fjädringens och dämpningens egenskaper.

Buss: storlek, fjädringens och dämpningens egenskaper.

Övriga: ambulanser

Vägens egenskaper

Vägtyp: motorväg, motortrafikled etc.

Linjeföring: horisontal- och vertikalkurvatur påverkande siktsträckan.

Vägbredd: med eller utan vägren.

Vägojämnhet: ojämnhetsnivå och våglängdsfördelning.

Vägomgivning: omgivningens skönhet, krockvänlighet och närhet till skogsbryn.

Väglag: torrt, vått, snöigt eller isigt.

Ljusförhållanden

Dagsljus eller natt.

Vägytans tillstånd

Låg friktion kan innebära en osäkerhets känsla för föraren.

Ett högt internt buller i fordonskåpen innebär ett obehag för föraren och kan också vara tröttnande om föraren utsätts för det under längre tid.

Vibrationer kan upplevas som obehagliga och tröttande för föraren. Långvariga vibrationer kan också ge upp upphov till smärta i nacke, axlar och rygg.

Krängningar upplevs inte minst av förare av tunga fordon som obehagliga. Kan även orsaka åksjuka.

God synbarhet vid mörkerkörning innebär en ökad körkomfort för föraren. En våt vägyta som är mycket speglade ger dock upphov till störande bländning.

Vatten, snö eller is på vägen kan upplevas som en ökad olycksrisk och påverkar därför körkomforten negativt.

Samtliga av dessa primära faktorer påverkar förarens upplevelse av risk. Föraren väljer en acceptabel risknivå, eller i de flesta fall kanske t.o.m. en nollrisknivå, genom sitt val av hastighet.

Färdhastigheten beror av fordonets typ och egenskaper (t.ex. roligt att köra fort med en sportbil) samt av vägtyp (högre hastighet på motorväg än på andra vägar), linjeföring (uppförsbackar innebär för vissa fordon en naturlig hastighetsbegränsning), vägojämnhet (risk för fordonsskador), för resan disponibel tid och ändamålet med resan (resor till och från arbetet avverkas normalt på kortast möjliga tid medan hastigheten vid rekreationsresor kanske är lägre för att omgivningens skönhet ska kunna avnjutas).

De fordonsinterna störningsmomenten vibrationer, buller och infraljud beror via färdhastigheten av vägojämnheten och fordonets typ och egenskaper. Komfortupplevelsen beror slutligen av risknivån, de fordonsinterna störningsmomenten, ändamålet med resan, linjeföringen (körning i horisontalkurvor ger sidaccelerationer som kan uppfattas som komfortnedsättande utan att samtidigt upplevas som riskabla), omgivningens eventuella skönhet och av bekvämligheten (stolutförning, servoassistans etc.) och det inre klimatet i fordonet.

Vägytans komfort är ett komplext begrepp som speglar hur en trafikant upplever vägen. Komforten påverkas av hur trafikanten upplever ex. risken för en olycka, oavsett hur stor den faktiska olycksrisken är. Trafikanten reagerar på dålig komfort genom att ex. sänka hastigheten. Därmed finns också risk för dubbelräkning av effekter.

I en begränsad undersökning studerades hur vägytans tillstånd inverkar på den av trafikanterna upplevda komforten. Vägytans tillstånd beskrivs med långsgående ojämnhet (IRI) samt med de vibrationer som påverkar föraren. Bedömningen gjordes vid färd i personbil som kör med en hastighet av 70 km/h och följande skala användes:

Tabell 3.1-8 Gradering vid komfortbedömning

Bedömning	Beskrivning	Ojämnhet IRI (mm/m)
1	Mycket dåligt	>7
2	Ganska dåligt	3.5-7
3	Varken bra eller dåligt	2-3.5
4	Ganska bra	1-2
5	Mycket bra	<1

Sambandet mellan trafikanternas bedömda komfort och ojämnheter (IRI) samt uppmätta vibrationer visade i studien god överensstämmelse.

Det bör poängteras att trafikanternas upplevda komfort påverkas av ett stort antal faktorer. Asfaltbelägningens kondition ansågs dock vara en av de faktorer som har störst betydelse för körkomforten, tätt följt av bilen och andra trafikanters beteende.

3.1.11 Vägytans effekter på trafiksäkerhet

Undersökningar av sambandet mellan vägytans tillstånd och trafiksäkerhet visar sällan entydiga resultat. Detta kan bero på att vägytestandarden är på sådan nivå i Sverige att olyckor sällan uppkommer som en följd av dålig vägyta. En väg med upplevd sämre säkerhet åtgärdas innan den utgör en risk. Det kan också bero på hur trafikanten anpassar sitt beteende. Trafikanten blir kanske mer koncentrerad och sänker kanske även hastigheten på en väg med ”dåligt” tillstånd. Studien ”Trafikanternas krav på vägars tillstånd – en körsimulatorstudie” () visar att trafikanterna markant sänker hastigheten på en väg med vattenfyllda spår och att trafikanterna upplever en sämre säkerhet.

Detta kan innebära att trafikanterna kompenserar den upplevt sämre trafiksäkerheten genom att sänka hastigheten. Det är därför långt ifrån självklart att en fysisk försämring leder till sämre trafiksäkerhet. Om trafikanten överkompenserar kan en sämre väg leda till förbättrad säkerhet. Om trafikanten underkompenserar kan en sämre väg leda till försämrade säkerhet. Att exempelvis bedöma vilken friktion som råder kan dock vara svårt för trafikanten som därmed också får svårt att anpassa sitt körbeteende till rådande förhållanden. Det kan också vara så att om vägen inte känns alltför ojämn så upplever inte bilföraren någon större olycksrisk utan håller en i förhållande till väggreppet allt för hög hastighet.

En vägytas tillstånd kan förväntas ha både positiva och negativa effekter på bilföraren och dennes bilkörning. Nedan ges några exempel.

Positiv inverkan på olycksrisken:

- Ökad koncentration på bilkörningen
- Sänkt hastighet på grund av försämrade komfort, buller, oro för olycksrisk eller att bilen ska skadas etc.

Negativ inverkan på olycksrisken:

- Mer koncentration på bilkörningen och därmed mindre observant på andra trafikanter

- Långvarig körning på ojämn väg kan vara tröttande (kan också innebära att bilföraren slappnar av/släpper koncentrationen när han kommer in på en bättre vägsträcka och då råkar ut för en olycka)
- Försämrat väggrepp pga. av minskad kontakt med vägytan, särskilt negativt i samband med snö- och isväglag eller rimfrost.
- Plötsligt uppträdande ojämnheter, såsom exempelvis enstaka tjällyft, kan överraska bilföraren i en situation då denna kanske har uppmärksamheten riktad åt annat håll (knappar på radion, svarar i mobiltelefon eller liknande)

Friktionen är den funktionella egenskap som bedöms ha störst betydelse för trafiksäkerheten. Låg friktion mellan däck och vägbana under barmarksförhållanden har dock normalt inte varit något stort problem i Sverige utan det är framförallt friktionen vintertid som betraktas som ett problem. Vid barmarksförhållanden anses friktionen normalt vara tillfredsställande och någon rutinmässig uppföljning av friktionen på de svenska vägarna görs inte. Denna uppfattning har man dock inte i ett flertal övriga länder i Europa och här genomförs också regelbundna friktionsmätningar.

Friktionen påverkas framförallt av makro- (stenstorleken) och mikrotexturen (skrovligheten på stenarnas yta) i kombination med fukt (smörjmedel) hos beläggningen. I många länder där dubbdäck är förbjudna är trafikpolering ett stort problem och föreskrifter finns bland annat för stenmaterialets poleringsbenägenhet. I Sverige har tidigare dubbtrafiken medfört att stenmaterialet på vintern ruggats upp varför låga friktionstal varit ovanliga på slitna beläggningar. Val av allt slitstarkare stenmaterial, övergång till skelettasfalt samt skonsammare dubbar har markant reducerat dubbslitaget och i vissa situationer kan detta medföra låga friktionsvärden under hösten. Låg friktion vid barmarksförhållanden kan även uppstå då enklare underhållsåtgärder som bindemedelsförsegling används på relativt högtrafikerade vägar.

En varierande friktion i längs- eller tvärled kan innebära en ökad olycksrisk t.ex. i samband med inbromsning

Studier där vägytans inverkan på trafiksäkerheten har undersökts har en negativ inverkan av ojämnheter kunnat påvisas (Sjölinder et al, 1997, Ihs et al., 2002). Att ojämna vägar skulle kunna innebära högre olycksrisk är väl inte helt oväntat. Dock kan effekten ibland synas oväntat stor. Andra undersökningar (Christensen och Ragnøy, 2006) visar att minskad ojämnheter kan minska säkerheten.

Som ett mått på vägens ojämnheter har IRI använts i de tidigare studierna. Eftersom medelvärden över 20 respektive 500 m har använts innebär det att en sträcka med enstaka större ojämnheter kan erhålla samma IRI-värde som en sträcka med flera mindre ojämnheter. Detta är en av anledningarna till att det med hittills använda analysmetoder inte har gått att särskilja effekten på olycksrisken av enstaka större ojämnheter från mer kontinuerligt förekommande mindre ojämnheter.

En hypotes som framförts är att vägar som har enstaka/lokala större ojämnheter men i övrigt är förhållandevis jämna kan ha högre olycksrisk lokalt vid ojämnheten än vägar med mer "kontinuerlig" ojämnheter. Sett över hela vägsträckan behöver dock inte olycksrisken vara större än på vägen med "kontinuerlig" ojämnheter. Vid lokal större ojämnheter kan bilföraren bli överraskad

och kanske bromsa in mer eller mindre häftigt. Är det då dessutom halt kan sladd uppkomma, alternativt så hinner inte bakomvarande bil bromsa utan kör på den som bromsat.

Spårdjup som av många förknippas med en hög olycksrisk leder enligt resultaten från de ovan nämnda studierna totalt sett inte till ökad olycksrisk. Risken för vattenplaningsolyckor konstaterades dock öka så som kan förväntas med ökande spårdjup och minskande tvärfall, dvs. förhållanden som gör att mer vatten kan bli stående på vägen. Andra undersökningar (Christensen och Ragnøy, 2006) () visar t.ex. att olyckorna minskar med 5 % då spårdjupen reduceras från 10 mm till 0 mm. De något motsägande resultatet från undersökningar i Sverige och Norge ledde till en samnordisk studie (). Denna studie ger slutsatsen att det inte går att påvisa samband mellan spårdjup och olyckor. Samtidigt konstateras att vägarna i de nordiska länderna har en förhållandevis bra standard och att om en väg upplevs som mindre säker så vidtas ofta åtgärder.

Ett korrekt tvärfall borde ha ringa inverkan på trafiksäkerheten. Ett felaktigt tvärfall i kombination med kurvor bör dock ha en stor inverkan. Otillräckligt tvärfall i kombination med spår och vatten innebär en ökad risk för vattenplaning.

Megatexturen kan inverka på friktionen genom minskad kontakt mellan däck och vägyta pga. att hjulen studsar. En ojämn yta kan också innebära att föraren blir mer koncentrerad på vägytan framför fordonet och därmed minskar uppsikten på den övriga trafiken.

Makrotextur, megatextur och spår i kombination med dåligt tvärfall liksom vattengenomsläpplighet påverkar vattendjupet på vägbanan och därmed friktionen.

Ljusreflektion (retroreflektion och spegling) torde ha stor betydelse vid våt väg bana i mörker. Jämfört med friktion bör dock inverkan vara ganska måttlig.

Vanligen är en strävan att ha en jämn vägyta med så lite störning som möjligt för trafikanten. Hastighetsdämpande åtgärder däremot är konstruerade för att stödja trafikanten till rätt val av hastighet, t ex gupp eller sidoförskjutningar. Det är viktigt att funktionen av hastighetsdämpande åtgärder vidmakthålls. I samband med underhållsbeläggning finns det risk att effekten av hastighetsdämpande åtgärder minskar. Sättningar kan däremot leda till förstärkta effekter, vilket kräver underhåll.

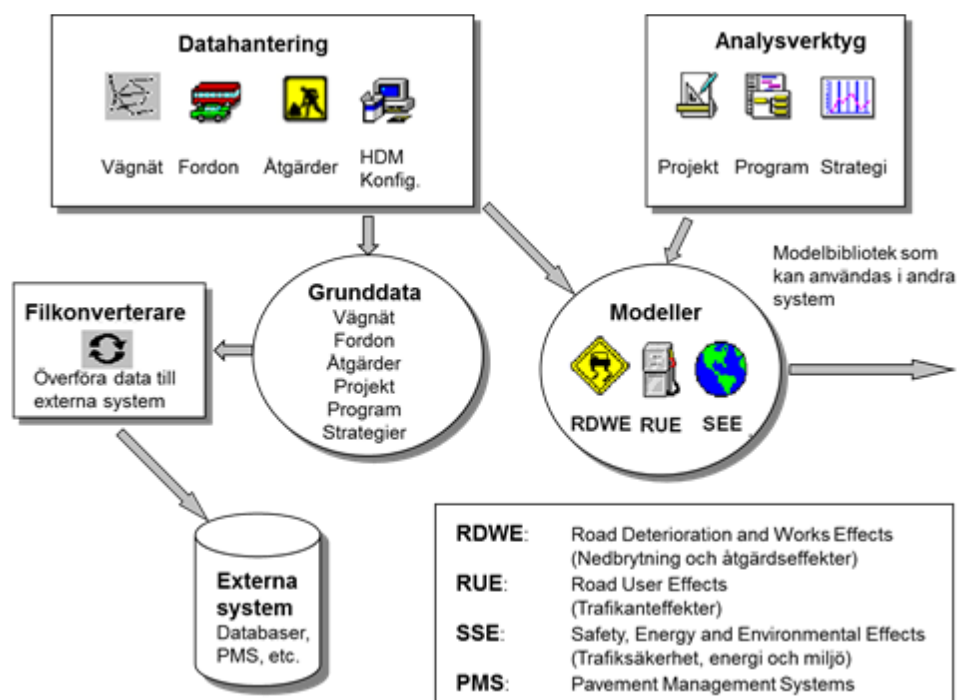
Mitträffling och sidoräffling har visat sig ha god trafiksäkerhetseffekt i mötes- och singelolyckor, särskilt i kombination med fordons antisladdsystem (Sternlund, 2020). Det är därför viktigt att denna funktion vidmakthålls. Räffling är en kostnadseffektiv åtgärd om den görs i samband med beläggningsåtgärder. Vägar som har räffling sedan tidigare ska även ha räffling efter beläggningsåtgärderna. För de vägar som uppfyller kraven för mitträffling vilket innebär en bredd på minst sju meter och hastighetsgräns över 60 km/tim bör ny mitträffling införas.

3.1.12 Analysverktyg, belagd väg

I HDM4- analys jämförs olika tillstånd som kan uppnås vid olika scenarios/strategier och därefter jämförs vilka av dessa scenarios som relativt sett ger högst nytta i förhållande till tillhörande åtgärds kostnader.

De förutsättningar och indata som används återspeglas grovt i figuren nedan. I samtliga fall har de generella beräkningsförutsättningarna och de anvisningar som finns inom ramen för ASEK 5 tillämpats. Kostnader i ASEK är uppdelade på lastbil utan släp, lastbil med släp och personbil där det för personbil även delas på om det är tjänsteresor eller privatresor. I HDM kan ett stort antal fordonstyper användas men i svenska data används i princip två fordonstyper (personbilar och lastbilar). Vid beräkning av kostnader antas att det är lika många lastbilar med släp som lastbilar utan släp, för mer information se dokument "Analyser inom drift- och underhåll på väg"

Effektmodellerna (RUE) och nedbrytningsmodellerna (RDWE) är kalibrerade enligt den beskrivningen som återfinns i effektkatalogen för drift och underhåll och nedbrytningsmodellerna är kalibrerade efter svenska data, för mer detaljerad information se dokument "Kalibrering av HDM 4", Rapport, 2012,



3.2 Vägarbetsområden på motorvägar - påverkan på trafikens kapacitet

3.2.1 Inledning

Det är känt att vägarbetsområden har en betydande inverkan på framkomligheten eftersom de ofta utgör flaskhalsar som resulterar i köer med fördröjningar som följd, framförallt på vägar med fyra eller fler körfält och med planskilda korsningar⁸. Därför är kunskap om vägens kapacitet vid vägarbetsområdet avgörande för trafikplanerare vid planering av drift- och underhållsåtgärder. Under åren 2014-2015 gjordes en studie, uppdelad i två delar, om hur vägarbetsområden påverkar kapaciteten hos motorvägar. Studien heter "DUKAT – Drift- och Underhållseffekter på Kapacitet och Trafikföring" och genomfördes av Movea, VTI och WSP.

I studien har kapacitetseffekter av följande åtgärder vid vägarbetsområden på motorvägar tagits fram och kalibrerats⁹:

- Avsmalning av körfälten på motorväg med 2 körfält per körriktning
- Avsmalning av körfälten på motorväg med 3 körfält per körriktning
- Pendlingstrafik
- Vägarbetets längd

Dessutom har följande kapacitetseffekter tagits fram, kalibrerats och även validerats¹⁰ för svenska förhållanden:

- Stängning av vägreten
- Överledning av trafik till mötande körriktning
- Reduktion av antalet körfält på motorväg med 2 körfält per körriktning
- Reduktion av antalet körfält på motorväg med 3 körfält per körriktning
- Hastighetsdämpning i form av exempelvis chikan i samband med överledning

Underlaget baseras på en beräkningsmodell som har tagits fram med utgångspunkt i tillgängliga studier om kapacitet på motorvägar vid vägarbetsområden gjorda i andra länder. Modellen har därefter kalibrerats och validerats genom empiriska mätningar på fem olika platser på motorväg i Sverige.

Effektsambanden avses främst användas som en del av ett beslutsunderlag av trafikplanerare vid upprättandet av trafikplaneringsplaner för vägarbetsområden i samband med drift- och underhållsåtgärder på eller vid

⁸ Vägar med fyra eller fler körfält och med planskilda korsningar benämns för enkelhetens skull härnäst "motorvägar".

⁹ Verifiering innebär att en kontroll görs av att modellen är representerad på det sätt som var avsett. Kalibrering innebär att en injustering av modellen görs för att den ska ge rätt resultat. Detta görs med en uppsättning data.

¹⁰ Validering innebär att kalibreringen kontrolleras så att den är representativ för andra data än kalibreringsdata. Detta görs med en ny uppsättning data som är oberoende av kalibreringsdata.

motorvägar. Modellen är även användbar vid investeringsprojekt och andra tillfälliga förändringar av utformningen av befintlig motorväg, dvs. vid alla trafikordningar, vid användning av åtgärder som modellen behandlar. Vid val av väganordning måste hänsyn dessutom tas till andra förhållanden som trafiksäkerhet, arbetsmiljö, miljöpåverkan och kostnader, vilka inte behandlas i detta effektsamband.

Effektsambanden täcker i nuläget inte alla kapacitetseffekter av drift- och underhållsåtgärder eller investeringsåtgärder i befintlig anläggning. Till exempel täcker inte effektsambanden effekter på 2+1-vägar eller effekter av insynsskydd och typ av vägarbete. För att kunna göra en fullständig samhällsekonomisk beräkning av kapacitetseffekter saknas också effekter på körlängd och trafikens fördröjning.

3.2.2 Resultat

Den återstående andelen av den ursprungliga kapaciteten för ett körfält vid ett vägarbetsområde vid drift- och underhållsarbete, q_{DoU}^i , beräknas med hjälp av följande ekvation

$$q_{DoU}^i = f_{vr} \cdot f_{öl} \cdot f_{hd} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot q_{rev}$$

Där:

q_{rev} = kapacitet (f/h) eller brytpunktsflöde (f/h), transformerat till personbilsflöde

f_{vr} = Korrigeringsparameter för **avstängd vägren**

$f_{öl}$ = Korrigeringsparameter för **överledning**

f_{hd} = Korrigeringsparameter för **hastighetsdämpning** i form av exempelvis chikan i samband med överledning

f_{rkf} = Korrigeringsparameter för reduktion av **antal körfält**

f_{p50} = Korrigeringsparameter för **pendlingstrafik**

f_l = Korrigeringsparameter för **längd på arbetsområdet**

f_{kfb} = Korrigeringsparameter för **körfältsbredd**

q_{rev} beräknas i enlighet med TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter.

q_{DoU}^i beräknas för respektive kvarvarande körfält i . Det eventuellt stängda körfältet räknas inte med alls. Vid beräkning av den reducerade kapaciteten för avstängd vägren ska f_{vr} bara användas för höger körfält och inte för övriga körfält. Summering av de aktiva körfälten görs enligt ekvationen nedan.

$$q_{DoU} = \sum_{i=1}^n q_{DoU}^i$$

För varje korrigeringsparameter finns en korrektionsfaktor som beskriver kapacitetsreduktionen av alternativa utformningar vid vägarbetsområden som påverkar framkomligheten på vägen. Till exempel, vid överledning av trafik minskar vägens kapacitet med 5 %, vilket innebär att återstående kapacitet är 95 % av den ursprungliga. Korrektionsfaktorn blir i det fallet 0,95. I tabellen nedan visas korrektionsfaktorer för respektive korrigeringsparameter.

Tabell 9. Korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet.

Korrigeringsparameter	Korrektionsfaktor	Användning
Grundkapacitet	1,0	-
Avstånd vägen (f_{vr})	0,8 (0,9 i kombination med andra åtgärder)	Reducera kapacitet i närliggande körfält
Överledning ($f_{öl}$)	0,95	Reducera hela sektionens kapacitet
Reduktion av antalet körfält (f_{rkf})	0,95	Reducera hela sektionens kapacitet
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	0,90	Reducera hela sektionens kapacitet
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	0,95	Reducera hela sektionens kapacitet

Reduktion för pendlingstrafik bör inte användas vid vägarbetsområden med varaktighet kortare än 1-2 veckor. Med pendlingstrafik menas förmiddagar och eftermiddagar på vardagar; övrig tid inklusive helger avser inte pendlingstrafik.

Tabell 2. Parametertabell för hastighetsdämpning med tre olika metoder.

Typ av hastighetsdämpning	Korrektionsfaktor f_{hd}
Chikan	0,82
Tryckning	0,76
Vävning	0,82

I Tabell 3 nedan, som avser korrektion för körfältsbredd, används parametervärden från den danska kapacitetsmanualen (Vejdirektoratet, 2010), vilka är baserade på mätningar vid olika vägarbetsområden.

Tabell 3. Korrektionsfaktor för genomsnittlig körfältsbredd, f_{kfb} , på motorvägssträckning med vägarbete från den danska kapacitetsmanualen.

Motorväg	Körfältsbredd (m)		
	$\geq 3,50$	3,00 – 3,50	2,75 – 3,00
Korrektionsfaktor f_{kfb}	1,00	0,95	0,90

Tabell 10. Bedömd kvalitet av korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet.

Korrigeringsparameter	Bedömd kvalitet
Avstängd vägren (f_{vr})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Överledning ($f_{öi}$)	Mycket god (Efter utförd validering.)
Reduktion av antalet körfält (f_{rkf})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Hastighetsdämpning (f_{hd})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	God (Flera studier ger resultat i samma storleksordning.)
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	Medelgod (Endast dansk referens.)
Körfältsbredd (f_{kfb})	Medelgod (Endast dansk referens.)

3.2.3 Beräkningsexempel

På en motorväg med fyra körfält och med ursprunglig hastighetsbegränsning 90 km/h ska det utföras ett arbete med att byta ut ett skadat räcke på en sträcka av 100 meter. För att göra detta krävs en avstängning av såväl vägrenen (vars bredd är 2,0 m) som det högra körfältet (vars ursprungliga bredd är 3,5 m) i den ena körriktningen. Således återstår det vänstra körfältet (vars bredd är 3,5 m) för trafik.

Beräkningen utförs för maxtimme morgon.

Beräkningen görs enligt följande:

q_{rev} beräknas enligt TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter = 1950 (pcu/h)¹¹

$$f_{vr} = 0,9$$

$$f_{öl} = 1,0$$

$$f_{hd} = 1,0$$

$$f_{rkf} = 0,95$$

$$f_{p50} = 1,0$$

$$f_i = 1,0$$

$$f_{kfb} = 1,0$$

$$q^1_{DoU} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1950 = 1667 \text{ (pcu/h)}$$

$$q_{DoU} = \sum_{i=1}^1 q^1_{DoU} = 1667 \text{ (pcu/h)}$$

Eftersom det ursprungligen fanns två körfält att trafikera i den aktuella körriktningen är den ursprungliga kapaciteten 3900 (pcu/h). Resultatet blir att kapaciteten minskar från 3900 (pcu/h) till 1667 (pcu/h) för den utformning som har valts för vägarbetet.

Kan istället både högra och vänstra körfältet trafikeras och endast vägrenen stängas av blir resultatet istället enligt följande:

q_{rev} beräknas enligt TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter = 1950 (pcu/h)

$f_{vr} = 0,8$ (gäller endast högra körfältet som inskränks – för vänstra körfältet blir faktorn 1,0)

¹¹ (pcu/h) står för personbilskvivalent per timme.

$$f_{\text{öl}} = 1,0$$

$$f_{\text{hd}} = 1,0$$

$$f_{\text{rkf}} = 1,0$$

$$f_{\text{p50}} = 1,0$$

$$f_i = 1,0$$

$$f_{\text{kfb}} = 1,0$$

$$q^1_{\text{DoU}} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1950 = 1560 \text{ (pcu/h)}$$

$$q^2_{\text{DoU}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1950 = 1950 \text{ (pcu/h)}$$

$$q_{\text{DoU}} = \sum_{i=1}^2 1560 + 1950 = 3510 \text{ (pcu/h)}$$

Resultatet blir att kapaciteten minskar från 3900 (pcu/h) till 3510 (pcu/h) för den alternativa utformningen av vägarbetsområdet.

3.3 Vägarbetsområden på 2+1-vägar - påverkan på trafikens kapacitet

3.3.1 Inledning

I avsnitt 3.2 ovan beskrivs effektsamband för hur arbeten på väg påverkar trafikens framkomlighet, eller vägarnas kapacitet på motorväg/flerfältsväg. Även drift- och underhållsåtgärder på 2+1-vägar kan ge stora trafikala effekter vad gäller trafikföring, kapacitet och restidsförlängningar med köer som resultat. Därför gjordes det under åren 2018-2019 en studie om hur vägarbetsområden påverkar kapaciteten på 2+1-vägar. Studien heter "DUKAT III – Drift- och Underhållseffekter på Kapacitet och Trafikföring III" och genomfördes av Movea.

I studien har kapacitetseffekter av följande åtgärder vid vägarbetsområden på 2+1-vägar kalibrerats:

- Dubbelriktad trafik
- Överledning av trafik till mötande köriktning
- Reduktion av antalet körfält på 2+1 väg
- Hastighetsdämpning
- Körfältsbredd

Vidare har följande åtgärders effekter på kapaciteten validerats för användning:

- Dubbelriktad trafik
- Reduktion av antalet körfält på 2+1 väg
- Hastighetsdämpning
- Körfältsbredd

Underlaget baseras på samma beräkningsmodell som har tagits fram med utgångspunkt i tidigare gjorda studier om kapacitet på motorvägar vid vägarbetsområden. Modellen har därefter kalibrerats och validerats genom empiriska mätningar på tre olika platser på 2+1-väg i Sverige samt simulering med hjälp av den mesoskopiska flödessimuleringsmodellen CALMAR.

Effektsambanden avses främst användas som beslutsunderlag av trafikplanerare vid upprättandet av trafikordningsplaner för vägarbetsområden i samband med drift- och underhållsåtgärder på eller vid 2+1-vägar.

3.3.2 Resultat

För 2+1-väg delas modellen upp i olika delmodeller beroende på åtgärd. En modell för när ett körfält stängs av eller körfältsbredden reduceras, en modell för överledning och dubbelriktad trafik i riktningen med 2 körfält samt en sista modell som beskriver kapaciteten för en 1-fältssträcka som regleras med skyttelsignal, lots eller flaggvakt.

q_{DOU}^i beräknas för respektive kvarvarande körfält i , oavsett om beräkningen gäller körfältsreduktion, överledning och dubbelriktad trafik, skyttelsignal, lots

eller flaggvakt. Det eventuellt stängda körfältet räknas inte med alls. Summering av de aktiva körfälten görs enligt ekvationen nedan.

$$q_{DoU} = \sum_{i=1}^n q_{DoU}^i$$

Körfältsreduktion

För fallet med körfältsreduktion beräknas den återstående andelen av den ursprungliga kapaciteten för ett körfält vid ett vägarbetsområde vid drift- och underhållsarbete, q_{DoU}^i , med hjälp av följande ekvation.

$$q_{DoU}^i = f_{hd} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot q_{rev}$$

där:

q_{rev} = kapacitet (pbe/h) eller brytpunktsflöde (pbe/h), transformerat till personbilsflöde

f_{hd} = Korrigeringsparameter för **hastighetsdämpning**

f_{rkf} = Korrigeringsparameter för reduktion av **antal körfält**

f_{p50} = Korrigeringsparameter för **pendlingstrafik**

f_l = Korrigeringsparameter för **längd på arbetsområdet**

f_{kfb} = Korrigeringsparameter för **körfältsbredd**

Överledning och dubbelriktad trafik

För fallet med överledning och dubbelriktad trafik beräknas den återstående andelen av den ursprungliga kapaciteten för ett körfält vid ett vägarbetsområde vid drift- och underhållsarbete, q_{DoU}^i , med hjälp av följande ekvation.

$$q_{DoU}^i = f_{min} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot q_{rev}$$

För detta fall måste minimivärdet, f_{min} , av f_{dr} , $f_{öl}$, f_{hd} bestämmas enligt följande:

$$f_{min} = \min \begin{cases} f_{dr} \\ f_{öl} \\ f_{hd} \end{cases}$$

f_{dr} = korrigeringsparameter för dubbelriktad trafik på 2-fältsriktningen

Skyttelsignal, lots eller flaggvakt

För fallet med 1-fältssträcka som regleras med skyttelsignal, lots eller flaggvakt beräknas den återstående andelen av den ursprungliga kapaciteten för ett körfält

vid ett vägarbetsområde vid drift- och underhållsarbete, q_{DoU}^i , med hjälp av följande ekvation.

q_{rev} beräknas i enlighet med TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter.

$$q_{DoU}^i = f_{sk} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot q_{rev}$$

För skyttelsignal, lots eller flaggvakt kan nedanstående funktion användas för att ta fram korrektionsfaktorn f_{sk} .

$$f_{sk} = 0,0007 \cdot q_{vrev} - \left(\frac{Längd - 1000}{50000} \right) - \left(\frac{Riktningfördelning - 0,5}{20} \right)$$

Där:

q_{vrev} = verkligt flöde (fordon/t) korrigerat med F_{pe}

f_{sk} = korrigeringsparameter för 1-fältssträcka som regleras med skyttelsignal, lots eller flaggvakt

q_{rev} = kapacitet (fordon/t) eller brytpunktsflöde (fordon/t)

$Längd$ = längd på sträckan i meter

$Riktningfördelning$ = Förhållandet mellan den analyserade riktningen och totalflödet i båda riktningarna

Modellen gäller för hastighetssänkningar med 30 km/h förbi arbetsplatsen.

Omledning

Omledning av trafik ger i de flesta fall en förlängning av resan både i sträcka och tid. Vid vägarbeten med lång sträcka och kraftig hastighetsreduktion kan dock en omledning bidra till oförändrad eller förkortade restid.

Restid

Restiden för hastighetsförändring förbi vägarbetsplats beräknas med följande:

$$tf = 3600 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{v_{arbete}} - \frac{1}{v_{normal}} \right)$$

Där:

tf = Restidsförändring (s)

L = Reslängd (km)

v_{arbete} = Hastighetsbegränsning vid vägarbete (km/h)

v_{normal} = Hastighetsbegränsning (km/h)

Korrigeringsparametrar

För varje korrigeringsparameter finns en korrektionsfaktor som beskriver kapacitetsreduktionen av alternativa utformningar vid vägarbetsområden som påverkar framkomligheten på vägen. Till exempel, vid överledning av trafik minskar vägens kapacitet med 5 %, vilket innebär att återstående kapacitet är 95 % av den ursprungliga. Korrektionsfaktorn blir i det fallet 0,95. I tabellen nedan visas korrektionsfaktorer för respektive korrigeringsparameter.

Tabell 11. Korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet (sektion avser en riktning).

Korrigeringsparameter	Korrektionsfaktor	Användning
Grundkapacitet	1,0	-
Överledning ($f_{öl}$)	0,95	Reducera hela sektionens kapacitet
Reduktion av antalet körfält (f_{rkf})	0,92	Reducera hela sektionens kapacitet
Dubbelriktad trafik (f_{dr})	0,97	Reducera hela sektionens kapacitet
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	0,90	Reducera hela sektionens kapacitet
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	0,95	Reducera hela sektionens kapacitet
Hastighetsdämpning (f_{hd})	0,85	Reducera hela sektionens kapacitet

Reduktion för pendlingstrafik bör inte användas vid vägarbetsområden med varaktighet kortare än 1-2 veckor. Med pendlingstrafik menas förmiddagar och eftermiddagar på vardagar; övrig tid inklusive helger avser inte pendlingstrafik.

I Tabell 2 nedan, som avser korrektion för körfältsbredd, används parametervärden från den danska kapacitetsmanualen (Vejdirektoratet, 2015), vilka är baserade på mätningar vid olika vägarbetsområden.

Tabell 2. Korrektionsfaktor för genomsnittlig körfältsbredd, f_{kfb} , på motorvägssträckning med vägarbete från den danska kapacitetsmanualen.

Fri bredd sida	Begränsad sidobredd på en sida			Begränsad sidobredd på båda sidor		
	Körfältsbredd (m)			Körfältsbredd (m)		
	≥ 3,50	3,25	3,00	≥ 3,50	3,25	3,00
≥ 1,80 m	1,00	0,95	0,90	1,00	0,95	0,90
1,20 - 1,79 m	0,99	0,94	0,89	0,98	0,93	0,88
0,60 - 1,19	0,97	0,92	0,88	0,95	0,90	0,86
Ingen	0,92	0,88	0,84	0,86	0,82	0,78

Tabell 3. Bedömd kvalitet av korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet.

Korrigeringsparameter	Bedömd kvalitet
Dubbelriktad trafik (f_{dr})	God (Efter utförd validering mot simulering.)
Överledning ($f_{öl}$)	Mycket god (Efter utförd validering.)
Reduktion av antalet körfält (f_{rkf})	Mycket god (Utvecklad utifrån egna mätningar och simulering.)
Hastighetsdämpning (f_{hd})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	God (Flera studier ger resultat i samma storleksordning.)
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	Medelgod (Endast dansk referens.)
Körfältsbredd (f_{kfb})	God (Efter utförd begränsad validering.)

3.3.3 Beräkningsexempel

På en 2+1-väg med ursprunglig hastighetsbegränsning 110 km/h ska det utföras ett arbete med att byta ut ett skadat räcke på en sträcka av 100 meter. För att göra detta krävs en avstängning av det högra körfältet (vars ursprungliga bredd är 3,5 m). Således återstår den begränsade bredden 3,0 m för vänstra körfältet (vars ursprungliga bredd är 3,5 m) för trafik.

Beräkningen görs enligt följande:

q_{rev} beräknas enligt TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter = 1630 (pcu/h)¹²

$$f_{öl} = 1,0$$

$$f_{hd} = 0,85$$

$$f_{rkf} = 0,92$$

$$f_{p50} = 1,0$$

$$f_l = 1,0$$

$$f_{kfb} = 0,82$$

$$q_{DoU}^1 = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,92 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,82 \cdot 1630 = 1045 \text{ (pcu/h)}$$

¹² (pcu/h) står för personbilssekivalent per timme.

$$q_{DoU} = \sum_{i=1}^1 q_{DoU}^1 = 1045 \text{ (pcu/h)}$$

Resultatet blir att kapaciteten minskar från 1630 (pcu/h) till 1045 (pcu/h) för den utformning som har valts för vägarbetet.

3.4 Referenser

- [1:1] Alm, Irma (1989), Transportabel komfort - komfortabel transport, VTI rapport 347 - 1989, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:2] Andersson M, Hultkrantz L, Nilsson J-E.: "Drift och underhåll av det statliga vägnätet på samhällsekonomiska grunder", TFK och CTEK, 1999
- [1:3] Andrén, Peter (2006), Development and results of the Swedish road deflection tester, Lic. Thesis, 2006, KTH, Stockholm
- [1:4] Berglund, C.-M. "Modelling Road User Effects in HDM-4.
- [1:5] Brunekreef B and Forsberg B (2005) Eur Respir J 2005; 26: 309-318
- [1:6] COST Action 354 (2007), Performance Indicators for Road Pavements . Final Report
- [1:7] Dahlstedt, Sven (2001), Bedömd vägojämnhet på vägar med låga IRI-värden. VTI rapport 474-2001, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:8] Dehlbom, Mats och Perérs, Mikael: Bullerskyddsåtgärder - allmänna råd för Vägverket, Vägverkets publikation 2001:88.
- [1:9] Däckbranschens Informationsråd: "Undersökning av däcktyp samt mönsterdjup i Sverige - februari 2007."
- [1:10] Effektsamband 2000, Gemensamma förutsättningar, publ 2000:113, Vägverket
- [1:11] Ekdahl, P.: "Vägytans effekter på fordonskostnader - Förenklingar för praktisk användning", Scandiaconsult, 2001
- [1:12] ERANET Road (2009), Maintenance Backlog - Estimation and use - Final Report
- [1:13] Eriksson, L. och Ihs, A. (2009): Trafikanterers krav på vägars tillstånd. En enkätstudie. VTI rapport 668. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:14] Erke, Alena och Elvik, Rune (2006) Effektkatalog for trafikksikkerhetstiltak, Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 851/2006
- [1:15] Forsberg, Inger & Magnusson, Georg (2000), Vägojämnhet - komfortkostnad. En litteraturstudie. VTI notat 11-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:16] Forsblom, M, Horppila, H & Männistö, V (2006): Vägförvaltningens utredningar 36/2006, Vägförvaltningen, Helsingfors
- [1:17] Friedrich R och Bickel P (ed) (2001): Environmental External Costs of Transport, Springer Verlag ISBN 3-540-42223-4.
- [1:18] Granlund, Johan (2000), Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar. En skakande upplevelse. Vägverket publikation 2000:31, Vägverket, Borlänge
- [1:19] Gustafsson, Mats, Blomqvist, Göran, Dahl, Andreas, Gudmundsson, Anders, Ljungman, Anders, Lindbom, John, Rudell, Bertil &

- Swietlicki, Erik (2005), Inandningsbara partiklar från interaktion mellan däck, väg bana och friktionsmaterial: slutrapport av WearTox-projektet. VTI rapport 520 - 2005, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping (Ett utdrag av projektet finns i VTI rapport 521 -2005)
- [1:20] Hammarström U, Henriksson P,: "Reparationskostnader för bilar - Kalibrering av Världsbankens HDM-III-samband för svenska förhållanden", VTI meddelande 743:1994
- [1:21] Hammarström U,: "PMS - fordonskostnader", VTI notat 48:2000
- [1:22] Hammarström, Ulf (2000): PMS-fordonskostnader, VTI notat 48-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:23] Henriksson P, Nielsen S, Enochsson C-G, Andersson M.: "Beräkning av lönsamhet för underhållsåtgärder på det belagda vägnätet" Remiss, Vägverket, 2000
- [1:24] Henriksson P,: "Specifikation för programmering av en lönsamhetsmodul", Vägverket, 2000
- [1:25] Höboda, Peet (1997): En State-of -the-art-rapport med avseende på svenska förhållanden: Polering och nötning av stenmaterial i slitlagerbeläggning - inverkan på friktionen hos vägbeläggning. VTI notat 18 -1997. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:26] Ihs A, Welin H, Wiklund M.: "Vägytans inverkan på trafiksäkerheten" VTI rapportkoncept, 2001
- [1:27] Ihs A, Welin H.: "Vägytans inverkan på fordons hastigheter", VTI rapportkoncept, 2001
- [1:28] Ihs, A, Grudemo, S och Wiklund, M (2004): Vägytans inverkan på körkomforten. Bilisters monetära värdering av komfort. VTI meddelande 957. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:29] Ihs, A, Öberg, G. och Wågberg, L-G (2007): Trafikanter krav på vägars tillstånd. En litteraturstudie rörande trafikantenkäter och trafikantintervjuer. VTI notat 18. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:30] Ihs, A. (2010): Trafikanter krav på vägars tillstånd. Sammanfattande slutrapport. VTI rapport 702. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:31] Ihs, A., Andersson, J., Kircher, K. och Bolling, A. (2009): Trafikanter krav på vägars tillstånd. En körsimulatorstudie. VTI rapport 669. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:32] Ihs, Anita & Magnusson, Georg (2000): Betydelsen av olika karakteristika hos beläggningsytan för trafik och omgivning, VTI notat 71-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:33] Ihs, Anita & Velin, Hans (2002): Vägytans inverkan på fordons hastigheten. Data från 1992-1998. VTI notat 40-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping

- [1:34] Ihs, Anita, Andrén Peter, Mård Berggren, Selina & Sjögren Leif (2006): Utformning av väg och vägyta för säkerhet, komfort och hälsa. En förstudie. VTI notat 29 -2006, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:35] Ihs, Anita, Grudemo, Stefan & Wiklund, Mats (2004): Vägytans inverkan på körkomforten. Bilister monetära värdering av komfort. VTI meddelande 957, 2004, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:36] Ihs, Anita, Velin, Hans & Wiklund, Mats (2001): Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. Data från 1992-1998, VTI meddelande 909-2001, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:37] Jacobson, Torbjörn: "Lågbullrande asfaltbeläggning - omräkningsfaktorer för nötningsresistens hos slitlager." VTI 2006.
- [1:38] Loukopoulus, P., Forsberg, I., Ihs, A. och Sjögren, L. (2008): Trafikanter krav på vägars tillstånd. En fokusgruppsstudie. VTI notat 13. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:39] Lundberg, Thomas & Sjögren, Leif (2004): Qualification of road surface monitoring services in Sweden, 1996-2000, VTI notat 38A-2004. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:40] Lundberg, Thomas, Sjögren, Leif och Andrén, Peter (2008) Nya mått och gränsvärden för lokalisering av vägyteskador. VTI PM, Statens väg- och transportforskningsinstitut
- [1:41] Magnusson, Georg, Dahlstedt, Sven & Sjögren, Leif (2002): Mätning av vägytans longitudinella jämnhet- metoder och nödvändig noggrannhet, VTI Rapport 475-2002. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:42] Metodbeskrivning 121:2009, Vägytemätning med mätbil; vägnätsmätning, publ 2009:78, Borlänge
- [1:43] Metodbeskrivning 122:2009, Vägytemätning med mätbil ;objektmätning, publ 200:79, Borlänge
- [1:44] Mäkelä, Kari & Lampinen, Anssi (1985), Monetär värdering av åkkomfort. VTT meddelande 476, Espoo, Finland
- [1:45] Möller, Staffan & Wallman, Carl-Gustaf (2001): Konsekvenser av belägningsytans tillstånd för vinterväghållningen, VTI notat 27-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:46] Nerhagen L. Forsberg B. Johansson C. Lövenheim B. (2005) Luftföroreningarnas externa kostnader, förslag på beräkningsmetod för trafiken utifrån granskning av ExternE-beräkningar för Stockholm och Sverige. VTI rapport 517.
- [1:47] Nilsson J-E, Ihs A, Sjögren L, Wiman L G, Wågberg L-G "Funktionsupphandling - Sammanfattning av kunskapsläge och rekommendationer för fortsatt forskning" VTI rapport 560-2006
- [1:48] Odoki JB, Kerali HGR.: "HDM-4 Volume four Analytical Framework and Model Descriptions", 2000
- [1:49] Olsson, C (1997), Metodtester för mätningar av bilisters betalningsvilja för drift och underhållsåtgärder i vägnätet. TRITA-IP

- FR 97-34. Institutionen för infrastruktur och samhällsplanering. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- [1:50] Potucek, Jaro (2002), Belagda vägar - målstandard och bärighetsmål. Vägverket 2002-03-25.
- [1:51] Potucek, Jaro och Rydén, Claes-Göran(2003) Den goda resan. Förslag till nationell plan för vägtransportsystemet 2004-2015. Underlagsrapport Strategi för bärighet, drift och underhåll. Vägverkets publikation 2003:99.
- [1:52] Regler för Underhåll och Drift. Vägverkets Publikation 1990:51.
- [1:53] Råd för val av beläggning med hänsyn till miljö Publ 2009:124, Vägverket, September 2009
- [1:54] Saarenketo, Timo and Saari, Johanna (2004) User Perspective to ROADEX II Test Areas' Road Network Service Level. Results of a Questionnaire Study on Road Network Condition and the Use of Roads. Roadex II
- [1:55] Sandberg, Ulf (2000): Vägytans inverkan på trafikbulleremissionen - korrektionstabell för effektsambandsmodeller, VTI notat 30 -2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:56] Sandberg, Ulf: "Vägytans inverkan på trafikbulleremission och rullmotstånd." VTI 2006.
- [1:57] Sayers, Michael W. (1995): On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile. Transportation Research Record, No 1501, 1995
- [1:58] Schandersson R, Magnusson G, Wågberg L-G & Öberg G: Betydelsen av olika karakteristika hos beläggningssytan för trafik och omgivning. Ett försök till strukturering. VTI notat 21-93. Statens väg- och trafikinstitut. Linköping. 1993
- [1:59] Sjögren, Leif, (2002): State of the art; Automatisk sprickmätning av vägbanor. VTI notat 24-2002, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:60] Sjögren, Leif, Lundberg, Thomas & Andrén, Peter (2002): Nya mått; ett underlag för en utveckling strategi inom området vägytemätningar. VTI notat 23-2002, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:61] Sjögren, Leif, Lundberg, Thomas (2011), Svenska vägtillståndsmått; då, nu och imorgon; Del 2, Nu - år 2005-2009, VTI Rapport 718, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:62] Sjölander, Kent, Velin, Hans & Öberg, G (1997): Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. Data från 1986 och 1987. VTI notat 67 -1997. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:63] Standardbeskrivning för grundpaket drift (SBD)
- [1:64] Sternlund, S. (2020). *Traffic Safety Potential and Effectiveness of Lane Keeping Support* (Doctoral dissertation, Chalmers Tekniska Högskola (Sweden)).

- [1:65] Synpunkter på HDM-4 Technical Reference Manual Version HDM-4 V1.OE." PM 1999-12-21, VTI, Linköping, 1999
- [1:66] Trafikverket, (2011) Nationell plan för Transportsystemet 2010 - 2021, publ 2011:067
- [1:67] Törnros, Jan & Wallman, Carl-Gustaf (2003): Inverkan av spår i beläggningen på förarbeteendet. En förstudie i VTI:s körsimulator. VTI meddelande 940-2003, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- [1:68] VVTBT Bitumenbundna lager (2010) ,TRV Publ. 2010:093
- [1:69] Vägverket, "Undersökning av däcktyp samt mönsterdjup i Sverige - januari/februari 2009", Publ. 2009:41
- [1:70] Vägverket, Effektsamband 2007
- [1:71] Vägytemätning med mätbil - Objektmätning, Vägverkets metodbeskrivning 122:2009
- [1:72] Vägytemätning med mätbil - Vagnätsmätning, Vägverkets metodbeskrivning 121:2009
- [1:73] Öberg, G, Wiklund, M & Nilsson, J-E (2003), Granskning av Vägverkets och Banverkets förslag till drift och underhållsstrategier, VTI rapport 492, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- [1:74] Trafikverket (2014), [TRVMB Kapacitet och framkomlighetseffekter](#)
- [1:75] Strömgren P, Olstam J, Wennström J, Alioui M & Lang J, Projektrapport – DUKAT, Movea, VTI, WSP, 2015.
- [1:76] Strömgren P, Olstam J, Larsson P, Olofsson N, Janco C W, Projektrapport – DUKAT II, Movea, VTI, WSP, 2015.



Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 0243- 750 90

www.trafikverket.se