

## Värdering av en modell för utmattningsberäkning av alternativa bundna bärlager

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

TOMAS ANDERSHED

BOJAN SEVIC

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för geologi och geoteknik*  
*Väg och trafik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2007  
Examensarbete 2007:76



EXAMENSARBETE 2007:76

Värdering av en modell för utmattningsberäkning av  
alternativa bundna bärlager.

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet

TOMAS ANDERSHED

BOJAN SEVIC

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för geologi och geoteknik*  
*Väg och trafik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2007

Värdering av en modell för utmattningsberäkning av alternativa bundna bärlager.  
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

TOMAS ANDERSHED

BOJAN SEVIC

© TOMAS ANDERSHED & BOJAN SEVIC, 2007

Examensarbete 2007:76

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för geologi och geoteknik

Väg och trafik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Omslagsbilden är designad och konstruerad av Bojan Sevic. Bilden visar läget på utmattningstøjningen som är avgörande vid beräkning av livslängder för en specifik vägkonstruktion.

Chalmers reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2007

Valuation of a model used for fatigue calculation of alternative bounded pavements.

Master's Thesis Civil and Environmental Engineering

TOMAS ANDERSHED

BOJAN SEVIC

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Road and Traffic

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

Today, a model used for designing a road construction gives acceptable values in terms of life length for standard AG22 with bitumen 160/220. This model regards the road construction and its behaviour during field conditions. For alternative materials another model is used and it is based only on laboratory results. This model does not regard how the material behaves in the field. To get acceptable life length of the construction that includes alternative materials, it could be advantageous to combine these two models. Combination of these models may give acceptable values of life length for that type of pavement. Five different materials have been studied in this report and two kinds of standard AG22. The data which has been used in the report has been gathered from NCC and VTI. Through a specific calculation model, the duration of the road construction has been calculated for the seven different alternative materials. The result has then been compared with AG22. In this model there are a few parameters that are specific for each one of the alternative materials. These parameters have been varied to get sensibility of the calculation model, when it comes to small changes. The results show that the definition of one of the parameters in the laboratory model is complicated and requires further studies. In this report that parameter is assumed to a specific value. Small changes in the stiffness modulus give acceptable variations of the results. The method gives a great variation of the results when comparing with AG22. The conclusion is that if the model gives that kind of variation, it is possible that the model does not give reasonable life lengths for the alternative materials.

Värdering av en modell för utmattningsberäkning av alternativa bundna bärlager.  
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

TOMAS ANDERSHED

BOJAN SEVIC

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för geologi och geoteknik  
Väg och trafik  
Chalmers Tekniska Högskola

## **SAMMANFATTNING**

För närvarande används en dimensioneringsmetod som ger accepterade livslängder av en vägkonstruktion för ett visst material, det vanligaste, standard AG22 med största stenstorlek 22 mm och bitumen med penetrationsindex 160/220. Denna livslängdsberäkning tar hänsyn till hur konstruktionen beter sig i fält. Då det gäller alternativa material så finns det endast en dimensioneringsmetod för livslängdberäkning, som grundar sig på laborationer med pulserande pressdragprov. En sådan dimensionering av ett alternativt material säger inget om hur det beter sig i fält. I detta arbete görs ett försök att kombinera dessa två. En kombination av dessa skulle kunna ge en rimlig livslängd för ett alternativt material. Fem olika material har undersökts och indata för alternativmaterialen har införskaffats från NCC och VTI, samt två varianter av standard AG22. Genom att använda en alternativ beräkningsmodell har livslängder beräknats för de sju olika materialen och jämförts med det traditionella materialet AG22. I denna modell ingår ett antal indataparametrar som är specifika för vart och ett av materialen. Känsligheten hos modellen har studerats genom att variera parametrarna. En av konstanterna vid en delberäkning av beräkningsmodellen är svårdefinierad för de alternativa materialen och kräver ytterligare studier. I denna rapport är den konstanten antagen. Vid varierande parametrar slår livslängden förhållandevis lite vid plus/minus tio procents ändring av styvhetsmodulen. Resultatet visar att metoden ger en stor variation vid jämförelse av AG22, då metoden egentligen borde ge en faktor ett. Så var inte fallet utan resulterade i en faktor 0,23 respektive 2,96. Detta visar att om det skiljer så mycket för AG22 dras slutsatsen av denna rapportundersökning att dimensioneringsmetoden möjligtvis inte ger rimliga livslängder för de alternativa materialen.

# Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
FIGURER	V
TABELLER	VI
FÖRORD	VIII
BETECKNINGAR	IX
FORMLER	XI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
2 METOD	3
2.1 Litteraturstudier	3
2.2 Indatamaterial	4
2.3 Bearbetning indata	4
2.3.1 Styvhetsmoduler	4
2.3.2 Ålderskorrigering av moduler	4
2.3.3 Korrigering labb – verklighet	4
2.3.4 Korrigering labbtillverkade provkroppar	5
2.3.5 Väggeometri	5
2.4 Analysmetoder	5
3 LIVSLÄNGDENS GRUNDER	6
3.1 Trafikprognos	6
3.2 Standardaxel	6
3.3 Ekvivalenta standardaxlar	6
4 LIVSLÄNGD FÖR ALTERNATIVA BUNDNA BÄRLAGER	8
4.1 Översiktlig beskrivning av förfarandet	8
4.2 Samband för AG22 (PMS-objekt)	8
4.3 Samband för alternativa material	9
4.4 Ålderskorrigering	9
4.5 Hänsyn till klimatperioder	10

4.6	Identifiering av laborationsresultat	11
4.7	Kombinering av livslängder	11
5	BESTÄMNING AV STYVHETSMODULER	13
5.1	Pulserande pressdragprovning	13
5.2	Beskrivning av pulserande pressdragprovning	15
5.3	Modulframtagning med regressions samband	17
6	UTMATTNING	18
7	TÖJNINGSLÄGESDEFINITION	19
8	VÄGKONSTRUKTIONSLAGER	20
8.1	Bitumenbundet lager	20
8.2	Icke bitumenbundet lager	21
9	MATERIALEGENSKAPER	23
9.1	Hålrums halt	23
9.2	Penetration	23
9.3	Mjukpunkt	23
9.4	Bindemedelshalt	24
9.5	Polymersort och polymerhalt	24
10	ALTERNATIVA MATERIAL	25
10.1	Polymermodifierade	25
10.1.1	50/70-53 SBS (Styren butadien sampolymerisat)	25
10.1.2	50/70-53 EVA (Etylen vinylacetat)	25
10.1.3	AG 100/150-75	25
10.2	MJAG (Mjukjord asfaltgrus)	26
10.3	AG 100/150	26
10.4	Standard AG22	26
10.4.1	AG22 160/220	26
10.4.2	AG22 d100	26
11	ANTAGANDEN	27
12	RESULTAT	28
12.1	Möjliga fel i resultatet	28
12.2	Livslängder hos alternativa material jämfört med AG22	28
12.3	Livslängd MJAG jämfört med AG22	31



12.4	Variation av konstanten $c$	31
12.5	Jämförelse med standardkonstanter	34
12.6	Värdering av utmattningsresultat	36
12.7	Känslighetsanalys	37
12.8	Motsvarig bärlagertjocklek för AG22	38
12.9	Rekommenderad beräkningsgång	39
12.9.1	Klimatzon	39
12.9.2	Modulberäkning	39
12.9.3	Ålderskorrigering av moduler	40
12.9.4	PMS-objekt – töjningar	40
12.9.5	Livslängdsberäkning	40
12.9.6	Sammanslagning $N_{alt.bel}$ och $N_{std.bel}$	40
12.9.7	Kortfattad beräkningsgång	40
13	SLUTSATSER	42
14	DISKUSSION	43
15	REFERENSER	44
	BILAGOR	46
	Bilaga 1. Klimatzoner	
	Bilaga 2. Beräkning av styvhetsmoduler	
	Bilaga 3. Sammanställning av beräkning	
	Bilaga 4. Utmattningsdiagram	

## Figurer

Figur 1. Definition av en standardaxel, ATB-väg.....	6
Figur 2. Föreslagen modell för dimensionering av konstruktioner med alternativa bundna bärlager.....	12
Figur 3. Pulserande pressdragprov, Nilsson (2005).....	13
Figur 4. Skiss på hur töjningarna uppstår under tryck.....	13
Figur 5. Samband mellan dragspänning och horisontell deformation.....	16
Figur 6. Regressionskurva för 50/70-53 EVA Poly inklusive beräkning av moduler.	17
Figur 7. Utmattningskurva för 50/70-53 EVA Poly.....	18
Figur 8. Definition av koordinater för antagen maxtöjning.....	19

Figur 9. Lagerföljd för konstruktion med material från Provväg E6 Geddeknippen – Kallsås.....	20
Figur 10. Lagerföljd för konstruktion med mjukgjord asfaltgrus (MJAG), bitumenbundet.....	20
Figur 11. Obunden lagerföljd för provväg E6 Geddeknippen – Kallsås. ....	21
Figur 12. Obunden lagerföljd för konstruktion med mjukgjord bitumen (MJAG).....	22
Figur 13. Skiss av penetrationstest, Asfaltboken (1999). ....	23
Figur 14. Skiss över ett mjukpunktstest, Asfaltboken (1999).....	24
Figur 15. Diagram över livslängderna $N_{till.alt.bel}$ med konstanten $c$ antagen till 2,28 samt $N_{Kingham}$ beräknad med PMS-objekt.....	29
Figur 16. Diagram över livslängderna $N_{alt.bel}$ med konstanten $c$ antagen till 2,28. ...	30
Figur 17. Diagram över livslängderna $N_{till.alt.bel}$ med konstanten $c$ antagen till 2,28 samt $N_{Kingham}$ med PMS-objekt. ....	31
Figur 18. Livslängden $N_{till.alt.bel}$ i proportion till konstanten $c$ för konstruktion med bärlager av 50/70-53 EVA Poly.....	32
Figur 19. Livslängden $N_{till.alt.bel}$ i proportion till konstanten $c$ för konstruktion med bärlager av AG 100/150-75 Poly.....	33
Figur 20. Variation av konstanten $c$ för övriga konstruktioner med bärlagermassa av övriga material. ....	33
Figur 21. Variation av konstanten $c$ för MJAG och AG22 160/220 med lagerföljd enligt klimatzon 4. ....	34
Figur 22. Livslängden med standardkonstanter för samtliga material i klimatzon 2...	35
Figur 23. Livslängden med standardkonstanter för MJAG i klimatzon 4. ....	35
Figur 24. Utmattningskurvor för de olika materialen. ....	36
Figur 25. Diagram över modulen som funktion av temperaturen.....	37
Figur 26. Diagram över hur livslängderna förändras vid ökning respektive minskning av modulen.....	38
Figur 27. Motsvarig bärlagertjocklek för AG22 materialet beräknat med PMS-objekt .....	38

## Tabeller

Tabell 1. Antal dagar för respektive klimatzon/period, ATB-väg (2005).	10
Tabell 2. Medeltemperatur för respektive klimatzon/period, ATB-väg (2005).	10
Tabell 3. Sammanställning av hur livslängden och konstanten $a_2$ varierar då konstanten $c$ antar olika värden för materialet 50/70-53 EVA Poly.	32
Tabell 4. Motsvarig bärlagertjocklek för AG22 för de livslängder som beräknats med konstanten $c = 2,28$ .	39

## **Förord**

Denna undersökning är i huvudsak genomförd vid Vägverket Region Väst med understöd av vägtekniker Carl-Gösta Enocksson, som även har bistått med information och vägvisning. Det har även skett ett besök på huvudkontoret i Borlänge där konsultation av vägtekniker Jesper Elsander har erhållits. Handledare och examinator på Chalmers Tekniska Högskola har varit universitetslektor Gunnar Lannér som bistått med administrativa och formella kunskaper.

Vi tackar dessa tre personer Carl-Gösta, Jesper och Gunnar för deras samarbetsvilja och goda engagemang i vårt arbete.

Göteborg Feb 2007

Tomas Andershed

Bojan Sevic

# Beteckningar

$A$	Andel tunga fordon
$B$	Ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon
$K$	Materialkonstant
$M$	Styvhetsmodul [MPa]
$M_s$	Styvhetsmodul [MPa]
$M_{s,korr}$	Korrigerad styvhetsmodul
$N$	Livslängden vid utmattningsprovning
$N_{alt, bel}$	Livslängden för alternativt material beräknad med laborationsformel
$N_{bb,i}$	Tillåtet antal belastningar för bitumenbundet bärlager under klimatperiod ”i”
$N_{ekv}$	Ekvivalent antal standardaxlar
$N_f$	Antal belastningar till brott
$N_f^{korr}$	$10 \cdot N_f$
$N_{std, bel}$	Livslängden för AG22 beräknad med laborationsformel
$N_{till, alt, bel}$	Tillåten livslängd för alternativa material
$N_{till, bb}$	Antal belastningar till brott
$N_{till, Kingham}$	Tillåten livslängd för AG22 beräknad med PMS-objekt
$P$	Pålagd last [N]
$T$	Mättemperaturen [°C]
$T_i$	Temperatur [°C] i bitumenbunden beläggning för klimatperiod ”i”
$\dot{ADT}_k$	Årsdygnstrafiken per körfält
$a1$	$\text{Log}(K)$
$a2$	Materialkonstant
$b$	Materialkonstant
$c$	Materialkonstant
$d$	Provkroppens diameter [mm]
$f_s$	Korrigeringsfaktor med avseende på befintlig beläggnings sprickighet och krackelering
$i$	1, 2, 3, ...
$j$	1, 2, 3, ... $n$
$k$	Antagen trafikökning per år i %
$k_f$	Riktningkoefficienten
$n$	Avsedd dimensioneringsperiod i år
$n_f$	Exponentkonstant som motsvarar $b$
$n_i$	Antal dygn under aktuell klimatperiod
$m$	Antalet klimatperioder enligt ATB-väg
$q$	Materialkonstant som ingår i styvhetsmodulformel
$t_1$	Antal månader för provkropp
$t_2$	Antal månader som provkropp skall simuleras till

$t_f$	Provkroppens tjocklek [mm]
$u$	Materialexponentskonstant som ingår i styvhetsmodulformel
$x$	Motsvarande bärlagertjocklek för AG22 [mm]
$y$	Motsvarande livslängd för AG22
$\varepsilon$	Töjning [ $\mu$ strain]
$\varepsilon_{bb,i}$	Största horisontella dragtöjning i bitumenbundet bärlager för klimatperiod ”i” vid belastning med en standardaxel
$\nu$	Kontraktionstalet
$\sigma$	Dragspänning [MPa]
$\pi$	Talet pi

## Formler

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{k}{100}\right)^j = \begin{cases} \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \\ \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n \end{cases} \quad (1)$$

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n \quad (2)$$

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \quad (3)$$

$$N_{bb,i} = f_s \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8 \cdot T_i + 32)}}{\varepsilon_{bb,i}^4} \quad (4)$$

$$\text{Log}(N_f) = a_2 - b \cdot \text{Log}(\varepsilon) - c \cdot \text{Log}(M_s) \quad (5)$$

$$M_s = q \cdot e^{(u \cdot T)} \quad (6)$$

$$M_s = 1,54 \cdot 10^4 \cdot e^{(-0,065 \cdot T)} \quad (7)$$

$$\text{Log}(N_f) = 21,64 - 3,53 \cdot \text{Log}(\varepsilon) - 2,28 \cdot \text{Log}(M_s) \quad (8)$$

$$M_{s,Korr} = (M_s \cdot t_1^{-0,08}) \cdot t_2^{0,08} \quad (9)$$

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (10)$$

$$N = K \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{n_f} \quad (11)$$

$$\text{Log}(N) = \text{Log}(K) - n \cdot \text{Log}(\varepsilon) \quad (12)$$

$$a1 = a2 + c \cdot \text{Log}(M_s) \quad (13)$$

$$\frac{N_{alt.bel}}{N_{std.bel}} \cdot N_{till.Kingham} = N_{till.alt.bel} \quad (14)$$

$$\sigma = \frac{2P}{\pi dt_f} \quad (15)$$

$$M = \frac{\pi dk_f (\nu + 0,27)}{2} \quad (16)$$

$$y = 2 \cdot 10^6 \cdot e^{(0,022 \cdot x)} \quad (28)$$



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I dagens läge används ett dimensioneringssystem som är validerat för en standardbeläggning AG med bitumen 160/220 (AG22). Dimensionering med andra bärlagermassor är inte möjlig. Vägverket använder sig av det Windowsbaserade programmet PMS-objekt för beräkning av livslängder och dimensionering av en vägkonstruktion.

Det är av intresse att undersöka alternativa material för att optimera en vägkonstruktions funktion. För Sveriges klimat krävs mjukare och mer flexibla vägar på grund av låga temperaturer. Beläggningsen måste samtidigt vara stabil för att klara påkänningarna från den tunga trafiken under sommaren utan att för stora permanenta deformationer uppstår. Ett annat exempel kan vara sträckor som är mycket tungt belastade där en styvare beläggning än AG22 krävs. Det finns naturligtvis även ekonomiska intressen för att få fram vägmateriäl som ger ekonomiska fördelar. Dimensioneringsberäkningar för vägkonstruktioner som inkluderar dessa alternativa bundna massor är idag inte standardiserade.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att med en föreslagen dimensioneringsmodell värdera alternativa bundna bärlager utifrån givna provningsresultat från utmattningsprovningar och styvhetsprovningar och jämföra dessa med AG22. Att värdera hur stabil dimensioneringsmodellen är genom att variera olika enskilda parametrar var för sig. Därefter ställa upp en dimensioneringsgång för alternativa beläggningar.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsas till att huvudsak använda sig av PMS-objekt och ATB-väg (version 2005) vid beräkning av livslängder. Vid insamling av indata har en verklig vägsträcka använts, vägsträckan E6 mellan Geddeknipeln – Kallsås. Från den har resultat från fem av de undersökta materialen hämtats. De två andra materialen (MJAG) har tillverkats på laboratorium av VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut och en av standard AG22 är indata införskaffat från en tidigare undersökning, Said (1998).

Med hänsyn till vägavsnittet Geddeknipeln – Kallsås geografiska läge är klimatzon 2 vald för sex av totalt sju alternativa material. Undantaget är MJAG då klimatzon 4 valts.

Vid beräkning av töjningar har enbart två punkter i asfaltkroppen undersökts och den största av dem har använts som indata för vidare beräkningar. Dessa befinner sig båda i underkant på det bitumenbundna lagret, antingen mitt under ett hjul, eller mitt i mellan två hjul på ett hjulpar från ett tungt fordon. I punkterna används den maxtöjning som bildas längs och tvärs vägen.

För att få så enkla och hanterbara resultat som möjligt har endast bundet bärlager nyttjats som variabel. Alltså, där har de alternativa materialen lagts in för

töjningsberäkning. I de övriga bundna lagren används AG22. När det gäller klimatzon 4, dvs. lagerföljden för MJAG har samma material använts i slitlager och bärlager.

Rapporten behandlar enbart nybyggnation av vägar samt att det enbart tas hänsyn till ackumulerad last utifrån ATB-väg.

## 2 Metod

Inledningsvis påbörjades arbetet med litteraturstudier vilka fortgick kontinuerligt under arbetets gång. Indata för vidare beräkningar samlades in, sorterades och bearbetades för att passa in i analyser med olika metoder. Nedan följer en övergripande beskrivning av arbetsmetoden.

### Litteraturstudier

- Vägdimensionering
- Materialegenskaper
- Styvhetsmätning
- Utmattningsprovning
- Bygghandlingar
- Utvärderingar av massabeläggningar

### Indatamaterial

- Styvhetsmätningar
- Utmattningsprovningar
- Väggeometri
- Klimatzoner

### Bearbetning av indata

- Passningsräkning av styvhetsmoduler
- Korrigering av givna data
- Beräkning av konstanter utifrån utmattningsprovningar

### Analysmetoder

- Sammanslagning av livslängder
- Rimlighetsbedömning av livslängd jämfört med standardbeläggning
- Känslighetsanalys vid variation av parametrar

## 2.1 Litteraturstudier

Litteraturstudier utfördes till större del på dimensioneringsförfarandet och på metodbeskrivningar av styvhetsprovning och utmattningsprovning. Även studier av

materialsammansättningar gjordes. Informationen hämtades till stor del från Vägverkets och VTI: s hemsidor och från ATB-väg.

## 2.2 Indatamaterial

Indata som använts i arbetet hämtades från rapporter på utmattningsprovningar och styvhetsprovningar som utförts av NCC Roads och VTI. NCC: s undersökningar utfördes på provvägen E6 sträckan Geddeknippeln – Kallsås. Det har även använts en undersökning på materialet MJAG som VTI gjort, denna undersökning baseras på laboratorietillverkade provkroppar. Utifrån dessa har styvhetsmoduler vid vissa temperaturer hämtats samt utmattningskonstanter.

Lagerföljderna är definierade enligt standard ATB-väg för motorväg respektive mindre landsväg. Klimatzoner är valda för lämpliga platser i Sverige med hänsyn till vägtyp och placering av provväg och finns givna i ATB-väg.

## 2.3 Bearbetning indata

För att få indata användbara och likvärdiga i undersökningen har en viss bearbetning av dessa utförts enligt nedan.

### 2.3.1 Styvhetsmoduler

Utifrån undersökningar utförda av NCC och VTI erhöles styvhetsmoduler vid temperaturerna 5, 10 och 20°C. För att räkna töjningar i vägkroppen vid aktuell klimatzon krävs ett bredare intervall. Därför plottades de tre givna temperaturerna mot respektive modul och en trendlinje infogades. Detta medförde att moduler vid önskade temperaturer enligt ATB-väg:s klimatzoner kunde avläsas.

### 2.3.2 Ålderskorrigering av moduler

Vid beräkning av moduler för AG22 enligt ATB-väg grundar sig uttrycket på mätningar av 2 till 4 år gamla beläggningar. På de alternativa beläggningarna har mätningar gjorts som sedan har ålderskorrigerats till 30 dagar gamla. För att motsvara likvärdig ålder som AG22 krävs ytterligare en korrigering för att det ska vara relevant att jämföra de olika materialen. I denna undersökning var det tillräckligt att ålderskorrigera till en motsvarighet av 1 år gamla beläggningar, enligt Said (2006-2007).

### 2.3.3 Korrigering labb – verklighet

Vid framtagandet av utmattningssamband på labb för alternativa bundna lager underskattas dess livslängd  $N_f$  så att en korrigeringsfaktor blir nödvändig för att labbproverna skall motsvara fältförhållanden. Denna korrigeringsfaktor har visat sig godtagbart stämma överens med en faktor 10 för det traditionella AG22. Enligt ATB-väg kan denna faktor även användas för alternativa beläggningar. Detta innebär att den verkliga livslängden för konstruktionen med alternativt bundet bärlager blir  $N_f^{korr} = 10 \cdot N_f$ . Detta beror bl.a. på att det sker en viss efterpackning och åldring av beläggningen efter utläggning. Det sker även en viss läkning av det bitumenbundna lagren sommartid då bitumenet blir varmt, Said (1998). Denna korrigering genomförs

endast då man jämför materialen direkt och är inte nödvändig vid sammanslagningen då de tar ut varandra.

### **2.3.4 Korrigering labbtillverkade provkroppar**

När det gäller labbtillverkade provkroppar korrigeras modulen då den överskattas. Det är normalt så att laboratorietillverkade provkroppar har bättre mekaniska egenskaper än provkroppar från befintliga vägkonstruktioner. Den faktorn som ska användas är inte definierad för alternativa material, däremot ligger den med viss säkerhet på ca 75 % för AG22, Said (1998). Då den korrigeringsfaktorn inte är fastställd för alternativa material har den antagits likvärdig med AG22 i denna rapport. Denna faktor är endast aktuell för ett av de undersökta materialen, MJAG. I de resterande är provkropparna hämtade från befintlig väg.

### **2.3.5 Väggeometri**

Vid beräkningar av vägkonstruktioners livslängder tas det hänsyn till att 20 mm av översta lagret av beläggningen slits bort pga slitage från däck. Dessa 20 mm skall ej tas med vid beräkningarna då dessa ej medverkar i konstruktionens bärighet då de slitits bort. PMS-objekt har en inbyggd funktion som räknar bort 20 mm av slitlagret med hänsyn till slitage. Dock vid programfunktionen ”avancerad bärighetsberäkning” dras ej de 20 mm bort och måste därför göras manuellt för att ge en exakt position av töjningarna i väggroppen.

## **2.4 Analyismetoder**

Med hjälp av datorprogrammet Excel har beräkningar av livslängder för konstruktion med de olika alternativa bundna bärlagren gjorts. För att få förfarandet effektivt ställdes alla formler, samband och korrigeringar upp, för att med enbart inmatning av data få fram livslängden. Därefter kombinerades livslängder för standardbeläggning och alternativ beläggning för att ge en slutlig livslängd för den konstruktion innehållande alternativt bundet bärlagermaterial.

För att fastställa huruvida känslig dimensioneringsmodellen är mot förändringar har en känslighetsanalys gjorts. Detta betyder att faktorer som konstanter och moduler har varierats för att se hur mycket livslängderna påverkas.

### 3 Livslängdens grunder

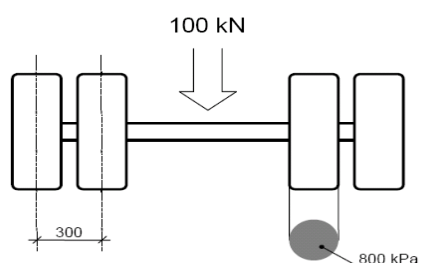
Vid nybyggnad av en väg behövs en del information om den aktuella sträckan. Detta för att utföra en så optimal dimensionering av väggroppen som möjligt. Genom att räkna fram antalet ekvivalenta standardaxlar  $N_{ekv}$  som en sträcka antas utsättas för och jämföra dessa med de tillåtna standardaxlar  $N_{till}$  som den dimensionerande väggroppen beräknas klara, kan väggkonstruktion definieras.

#### 3.1 Trafikprognos

Vid dimensionering av väggkonstruktioner prognostiserar man trafiken. Detta för att avgöra hur många standardaxlar (se avsnitt 3.2) den färdiga konstruktionen kommer att utsättas för under dess livslängd. En väggkonstruktions livslängd med avseende på de bitumenbundna lagren ansätts till 20 år. Sedan beräknas antal ekvivalenta standardaxlar enligt given formel, se avsnitt 3.3. Vid prognosen tas endast hänsyn till tunga fordon, personbilstrafiken bidrar förhållandevis lite till nedbrytningen och försummas, ATB-väg.

#### 3.2 Standardaxel

För att få en enhetlig last som den blandade trafiken består av har en standardaxel införts. En standardaxel definieras som den last som en axel med parmonterade hjul med en jämt fördelad axellast av 100 kN utsätter väggkonstruktionen för, på en cirkulär yta med ett kontaktryck av 800 kPa per hjulpar, se figur 1, ATB-väg.



Figur 1. Definition av en standardaxel, ATB-väg.

Denna rapport tar endast hänsyn till denna typ av last (standardaxellasten) som nämnts i avgränsningen. Men det finns ytterligare en definition av laster enligt ATB-väg som benämns ”enstaka last”. Denna har en tyngd av 130 kN och verkar på en yta av rektangulärt format med sidorna 200 á 600 mm.

#### 3.3 Ekvivalenta standardaxlar

Den trafiklast som används vid bärlighetsdimensionering av väggkonstruktioner är det ekvivalenta antalet standardaxlar  $N_{ekv}$ . Dessa beräknas enligt formel 1, ATB-väg.

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{k}{100}\right)^j = \begin{cases} \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \\ \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n \end{cases} \quad (1)$$

Då  $k$  (det vill säga antagen trafikförändring i %) är lika med 0 används formel 2

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n \quad (2)$$

och i övriga antaganden om  $k$  används formel 3.

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \quad (3)$$

Det är en förutsättning vid dimensioneringen av en vägkonstruktion att ekvivalenta antalet standardaxlar  $N_{ekv}$  är lägre än det beräknade tillåtna antalet standardaxlar  $N_{till}$ , alltså att  $N_{ekv} \leq N_{till}$ .  $N_{till}$  beräknas utifrån den valda konstruktionen. Det är just denna parameter  $N_{till}$  som denna rapport fokuserar på, och en jämförelse mellan de två parametrar  $N_{till}$  för alternativa beläggningar i förhållande till  $N_{till}$  standard beläggning. Dessa två benämns  $N_{till.alt.bel}$  respektive  $N_{Kingham}$  senare i rapporten.

För att visa på vad som är normalt för en högtrafikerad motorväg kan läsaren få sig en uppfattning om hur de livslängder som redovisas nedan skiljer sig från en trafikbelastningsprognos som genomförs enligt ovan.

Alltså, enligt Vägverkets ATB-väg för nydimensionering av väggroppar utförs en prognos enligt formel 1.  $\dot{A}DT_k$  är en parameter som på en europaväg av klass med provvägen, som studerats i denna rapport, kan ansättas till ca 10 000 samt en trafikförändring per år ( $k$ ) av 1,4 %. Trafikförändringen är vanligtvis mellan 1 och 3 %, Enocksson (2006-2007). Då  $B$  representerar antalet standardaxlar per tungt fordon rekommenderar ATB-väg att  $B$  för en europaväg (provvägen E6 Geddeknippen – Kallsås) ska sättas till 1,3-4,0. För denna beräkning antas ett värde som ligger ungefär strax under mittvärdet och sätts därmed till 2, Enocksson (2006-2007). Andelen tunga fordon, alltså parametern  $A$  i formel 1 kan väljas utifrån tre kategorier, nationell väg, regional väg samt lokal väg med ett värde på  $A$  av 14 %, 8 % respektive 6 %. Här väljs nationell väg och därmed ett  $A$  på 14 %. Antal år  $n$  ansätts till 20 då bitumenbundna lager dimensioneras för en livslängd av 20 år enligt ATB-väg.

Med dessa antagna värden kan nu  $N_{ekv}$  bestämmas. Med givna värden som ansattes i tidigare stycke ger det ett  $N_{ekv}$  av ca 23 700 000 standardaxlar, som beräknades genom formel 3. Dessa beräkningar kan även utföras i programmet PMS-objekt.

## 4 Livslängd för alternativa bundna bärlager

Beräkning av livslängden för konstruktioner med alternativa bundna bärlager utförs med en speciell modell. I avsnitt 4.1 beskrivs förfarandet översiktligt och i övriga (4.2-4.7) kapitlen beskrivs beräkningsgången mer ingående.

### 4.1 Översiktlig beskrivning av förfarandet

För AG22 är erfarenheten god och dess framtagna styvhetsmoduler, som är tabellerade i ATB-väg, används som standard i PMS-objekt och varierar beroende på klimatzon (temperatur).

Det finns även ett samband för AG22 framtaget enbart genom laborietester på provkroppar. Detta uttryck har specifika konstanter som stämmer för AG22. Det är just detta samband som översätts till att användas för de alternativa materialen. Alltså, för ett specifikt alternativt material anpassas sambandet med det alternativa materialets konstanter.

PMS-objekt är validerat för AG22, däremot när dimensionering skall utföras med alternativa material kan inte PMS-objekt användas på samma sätt. Lösningen på detta är att föra in moduler i PMS-objekt som är framräknade utifrån laborietester. Dessa moduler är inte anpassade på samma sätt som de standardiserade som finns inbyggda i programmet.

Sammanfattningsvis har moduler använts utifrån tre olika förhållanden enligt:

- Standardiserade moduler enligt PMS-objekt vilka grundar sig på mätningar och erfarenhet.
- Beräknade moduler enligt uttryck som grundar sig på enbart provmätningar på labb utifrån AG 22.
- Beräknade moduler enligt uttryck som grundar sig på enbart provmätningar på labb för alternativa material.

När modulerna är framtagna och lagrens tjocklekar är definierade nyttjas PMS-objekt för att räkna ut töjningarna vid de bestämda punkter som redovisas i avsnitt 6. Dessa töjningar, tillsammans med modulerna för vart och ett av materialen, används sedan vid beräkningarna av de livslängder som eftersträvas för vart och ett av de alternativa materialen.

Slutligen har tre olika livslängder erhållits som sedan kombineras genom metoden som anges i avsnitt 4.7.

### 4.2 Samband för AG22 (PMS-objekt)

För att beräkna livslängder för det traditionella materialet AG22 används ett kriterium som kallas Modifierad Kingham. Det sambandet ser ut enligt formel 4 och det är det som PMS-objekt räknar med och resulterar i  $N_{Kingham}$ , ATB-väg.



$$N_{bb,i} = f_s \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8 \cdot T_i + 32)}}{\varepsilon_{bb,i}^4} \quad (4)$$

Denna rapport behandlar endast nybyggnationer vilket innebär att korrigeringsfaktorn  $f_s = 1$ , ATB-väg. Denna faktor tar hänsyn till eventuella sprickor och krackeleringar i bitumenbundet lager. Vid nybyggnad antar man att det inte förkommer varken sprickor eller krackeleringar vilket är rimligt då den är helt ny.

### 4.3 Samband för alternativa material

Då konstruktioner som inte är uppbyggda av AG22-materialet används ATB-väg kapitel C5.2 vid dimensioneringsförfarandet. Denna metod bygger på undersökningar gjorda på laboratorium med där framtagna parametrar. Antalet tillåtna standardaxlar beräknas då enligt sambandet 5.

$$\text{Log}(N_f) = a2 - b \cdot \text{Log}(\varepsilon) - c \cdot \text{Log}(M_s) \quad (5)$$

Konstanterna  $a2$ ,  $b$  samt  $c$  för alternativa material varierar beroende på vilken materialtyp som studeras och  $N_f$  är ekvivalent med  $N_{Till}$  och  $M_s$  införskaffas genom pressdragprovning, se kapitel 5, för de alternativa bundna materialen. Pressdragprovet resulterar i sambandet för temperaturen i förhållande till modulen enligt formel 6. Vid givna temperaturer (som den aktuella klimatzonen anger enligt ATB-väg) och formel 6 räknas modulerna fram för de alternativa materialen. Dessa används vid livslängdsberäkning av  $N_{alt.bel}$  genom formel 5.

$$M_s = q \cdot e^{(u \cdot T)} \quad (6)$$

För AG22 ser detta samband ut enligt formel 7 med givna konstanter, ATB-väg kapitel C.5.2. Med formel 7 räknas moduler fram som används vid livslängdsberäkning av  $N_{std.bel}$  genom formel 8, med givna konstanter  $a2$ ,  $b$  och  $c$ .

$$M_s = 1,54 \cdot 10^4 \cdot e^{(-0,065 \cdot T)} \quad (7)$$

$$\text{Log}(N_f) = 21,64 - 3,53 \cdot \text{Log}(\varepsilon) - 2,28 \cdot \text{Log}(M_s) \quad (8)$$

**Kommentar:** vid framtagandet av formel 7 har provkroppar av AG22 med bitumen 160/220 använts från befintliga beläggningar, ATB-väg. Då det gäller formel 8 nyttjades ett hundratal provkroppar av materialet AG22, dessutom validerades den med ett fåtal provkroppar från andra material, ex EVA. Detta gör att sambandet 8 inte helt är framtaget för att passa för enbart AG22, Said (2006-2007). Men då man använt avsevärt flest provkroppar från AG22 antas den motsvara AG22 materialet i denna rapport. Det bör påpekas att detta inte är helt riktigt utan det bör hållas i minne då resultaten presenteras i avsnitt 12.

### 4.4 Ålderskorrigering

Alla moduler som använts i sambanden för livslängdsberäkning för de alternativa materialen har en ålderskorrigering utförts med formel 9, ATB-väg. Denna

korrigerings har genomförts för att få provkropparna att motsvara ett år gamla beläggningar, Said (2006-2007).

$$M_{s,Korr} = (M_s \cdot t_1^{-0,08}) \cdot t_2^{0,08} \quad (9)$$

Då det gäller AG22 är inte detta nödvändigt då 7 är framtagna på provkroppar av likvärdig ålder, ATB-väg.

## 4.5 Hänsyn till klimatperioder

Då klimatet varierar använder PMS-objekt formel 10. Detta samband tar hänsyn till vilken klimatzon som den aktuella beräkningen (vägens placering) ska genomföras vid. Klimatzon bestäms enligt ATB-väg, se bilaga 1. Där delas Sverige in i zoner vilka i sin tur delas in i perioder/årstider enligt tabell 1. Perioderna/årstiderna tilldelas en medeltemperatur enligt tabell 2, som den aktuella perioden (antal dagar) representerar.

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (10)$$

Formel 10 utnyttjas även vid beräkning då kriteriet 5 och 8 används. Då gäller att  $N_f = N_{bb,i}$  i uttrycket 10. I tabell 1 hämtas det aktuella antalet dagar  $n_i$  som perioden representerar i formel 10, ATB-väg.

Tabell 1. Antal dagar för respektive klimatzon/period, ATB-väg.

	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	49	80	121	151	166
Tjällossningsvinter	10	10			
Tjällossning	15	31	45	61	91
Senvår	46	15			
Sommar	153	153	123	77	47
Höst	92	76	76	76	61

Tabell 2. Medeltemperatur för respektive klimatzon/period, ATB-väg.

	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	-1,9	-1,9	-3,6	-5,1	-7
Tjällossningsvinter	1	1			
Tjällossning	1	2,3	4,5	6,5	7,5
Senvår	4	3			
Sommar	19,8	18,1	17,2	18,1	16,4
Höst	6,9	3,8	3,8	3,8	3,2

## 4.6 Identifiering av laborationsresultat

Från utmattningsprovningar som NCC och VTI gjort fås resultaten på formen enligt formel 11. Dessa prover utförs vid en materialtemperatur av 10°C. Genom detta prov bestäms konstanterna  $K$  och  $n$  för det undersökta materialet.

$$N = K \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{n_f} \quad (11)$$

Genom att logaritmera och utveckla uttrycket 11 erhålls formel 12

$$\text{Log}(N) = \text{Log}(K) - n_f \cdot \text{Log}(\varepsilon) \quad (12)$$

I sambandet 12 ovan ingår inte materialets styvhetsmodul. För att få med styvhetsmodulen i sambandet görs identifieringen att  $a1 = \text{Log}(K)$ . Sedan nyttjas formel 13 för att slutligen erhålla ett ekvivalent samband med formel 8, men med konstanter som är specifika för ett alternativt material som tidigare nämnts, Elsander (2006-2007).

$$a1 = a2 + c \cdot \text{Log}(M_s) \quad (13)$$

Detta ger nu det sökta sambandet enligt formel 5 då  $N = N_f$  för de alternativa materialen.

## 4.7 Kombinerig av livslängder

Grundtanken med denna metod är att ta fram en faktor som grundar sig på laboriemätningar för AG22 och ett alternativt material, alltså en faktor för varje material. Denna faktor multipliceras sedan med livslängden som PMS-objekt beräknat utifrån de standardiserade modulerna. Detta ger då en sammanslagning av både fältmässiga och laboriemässiga värden. Uttrycket ser ut enligt följande:

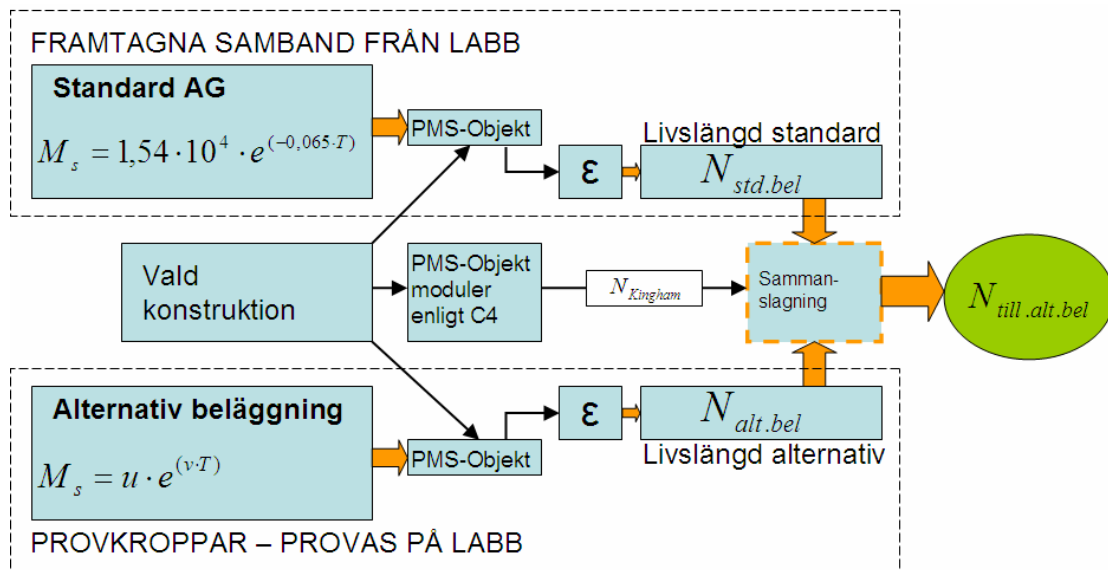
$$\frac{\text{Livslängden.Altbeläggnig.Labb}}{\text{Livslängden.AG22.Labb}} \cdot \text{AG22.PMS.Kingham} = \text{Till.Livslängd.Altbeläggnig}$$

Formel 14 är samma uttryck men med beteckningar som används fortsättningsvis i rapporten.

$$\frac{N_{alt.bel}}{N_{std.bel}} \cdot N_{till.Kingham} = N_{till.alt.bel} \quad (14)$$

Enligt detta samband skulle  $\frac{N_{alt.bel}}{N_{std.bel}} = 1$  (faktorn) om man använde sig av AG22 som alternativ beläggnig. Detta ger då i sin tur med 14, livslängden beräknad utifrån det system (PMS-objekt) som man anser idag ge accepterade livslängder för AG22.

För sammanfattning av hela förfarandet se figur 2.



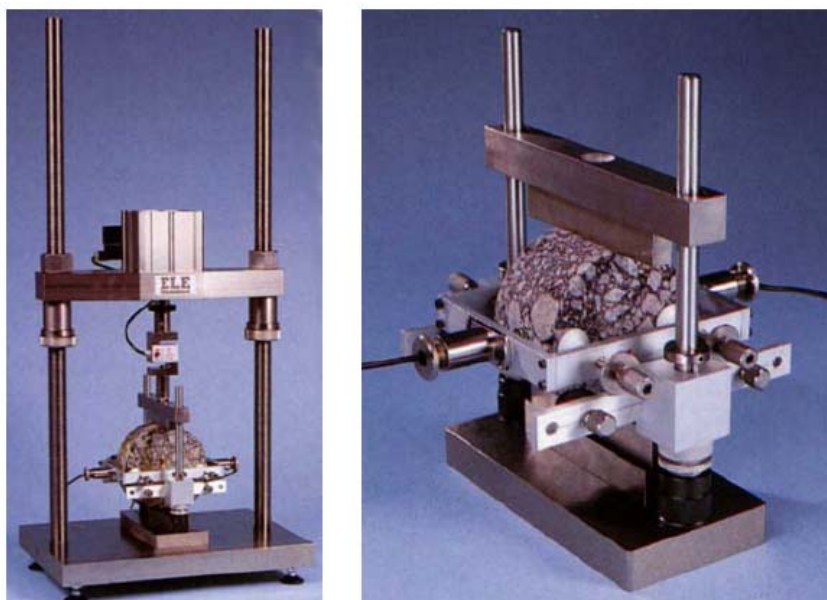
Figur 2. Föreslagen modell för dimensionering av konstruktioner med alternativa bundna bärlager.

## 5 Bestämning av styvhetsmoduler

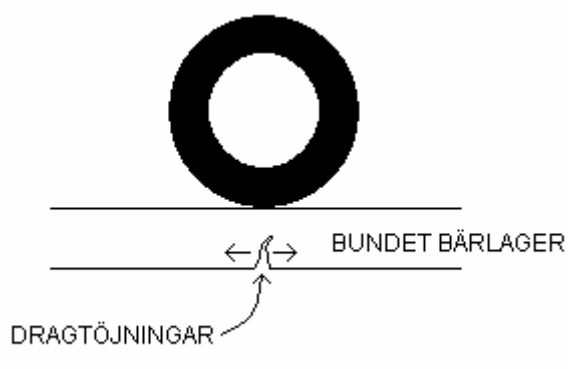
Den modulbestämningsmetod som använts av NCC och VTI för att få fram indata för styvhetsmodul, och som har varit nödvändig i denna rapport, redovisas i avsnitt 5.1. I avsnitt 5.2 klargörs hur moduler för önskade temperaturer beräknas.

### 5.1 Pulserande pressdragprovning

Den metod NCC och VTI använt för bestämning av styvhetsmodulen är ett så kallat pulserande pressdragprov, se figur 3. Den går ut på att en cylindrisk provkropp utsätts för en pulserande belastning applicerad på provkroppens mantelyta. På det sättet skapas indirekt horisontella dragspänningar. Efter en viss tid uppstår dragbrott, trots att den vertikala deformationen blir liten, Asfaltboken (1999).



Figur 3. Pulserande pressdragprov, Nilsson (2005).



Figur 4. Skiss på hur töjningarna uppstår under tryck.

Figur 4 visar dragtöjningarna i underkant bitumenbundet bärlager. Det pulserande pressdragprovet i figur 3 ger en god simulering av förfarandet i figur 4.

## 5.2 Beskrivning av pulserande pressdragprovning

Denna metod är avsedd för bestämning av styvhetsmodulen hos asfalt. Provkroppen kan vara framställd på laboratorium eller uttagen ur en beläggning genom borrar. Det cylinderformade provet utsätts på mantelytan för en vertikal, periodiskt återkommande, given belastning, med en normal frekvens av 0,3 Hz och med en pulslängd på 0,1 s. Vid avlastning mäts den horisontella, återgående (resilienta) deformationen. Styvhetsmodulen beräknas sedan enligt formel 16. Provningen utförs vanligtvis vid temperaturerna -5, 10 och 25°C, FAS Metod 454-98. I denna rapport har styvhetsmoduler plockats ur provningar genomförda vid 5, 10 och 20°C.

Den pulserande pressdragprovningens utrustning innehåller följande delar:

- Belastningsanordning med en pulserande belastning inom frekvensområdet 0,1-10 Hz och belastningsområdet 0-5 kN.
- Temperaturregleringssystem för mellan -5 och 25°C med felmarginalen högst 1°C.
- Mät- och registreringssystem.
- Skrivare med frekvensområdet 0-10 Hz, oscilloskop eller PC.
- Belastningsrigg t.ex. enligt figur 3 ovan.
- Deformationsmätare för bestämning av den horisontella deformationen med en upplösning av 0,0002 mm inom frekvensområdet 0-10 Hz.
- Lastmätssystem för bestämning av pålagd last med felmarginal högst 50 N.

Laborrietillverkade prov tillverkas enligt bestämda mått. Proverna bör ha en axiell höjd på minst 40 mm och en diameter på minst 100 mm vid 22 mm som max kornstorlek. Vid en kornstorlek på max 32 mm skall provkroppen ha en höjd på minst 75 mm och en diameter på minst 150 mm, FAS Metod 454-98.

Borrproven skall ha plana ytor som skall vara någorlunda jämna och parallella och i övrigt ha samma dimensioner som de laborrietillverkade proven. Tjockleken bör ej understiga 40 mm, FAS Metod 454-98.

Minst tre provkroppar skall undersökas. Provkropparna skall tempereras torrt vid konstant temperatur tillräckligt länge så att den önskade temperaturen håller sig genom hela provningsproceduren, FAS Metod 454-98.

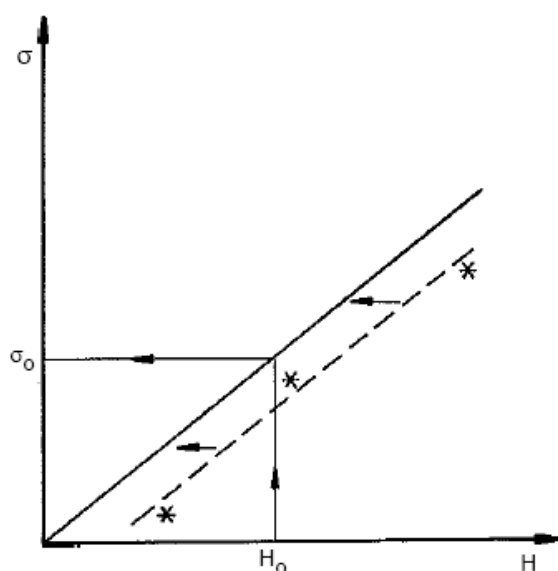
Provet förs in i belastningsriggen så att kraften kommer att verka i provets vertikala diameterplan. Mätssystemet justeras och därefter förbelastas provet för en slutlig justering tills den erhållna deformationskurvan reproducerar sig. Detta innebär att den horisontella deformationen  $H$  i figur 5 blir densamma vid, på varandra omedelbart följande belastningar. Provningen utförs två gånger på samma prov och provet skall inte gå till brott. Slutresultatet för en provning bör uppnås inom 4 minuter efter provets temperaturkonditionering, FAS Metod 454-98.

Då tre olika provkroppar av samma material har provats två gånger var, beräknas sedan modulen med formel 16, FAS Metod 454-98.

Dragspänningen i provet beräknas enligt 15.

$$\sigma = \frac{2P}{\pi dt_f} \quad (15)$$

där  $\sigma$  är dragspänning i MPa,  $P$  är pålagda lasten,  $d$  är provets diameter och  $t_f$  är provets tjocklek. Beräkningen sker vid 3 olika lastnivåer med olika deformationer  $H$ . Då kan ett diagram ritas med de tre punkterna. Därefter anpassas en rät linje till punkterna som också parallellförflyttas så att linjen börjar i origo. Se figur 5, FAS Metod 454-98.



Figur 5. Samband mellan dragspänning och horisontell deformation.

Styvhetsmodulen beräknas ur formel 16.

$$M = \frac{\pi dk_f (\nu + 0,27)}{2} \quad (16)$$

Där  $M$  är styvhetsmodulen i MPa,  $d$  är provets diameter,  $k_f = \frac{\sigma_0}{H_0}$  är riktningskoefficienten för den räta linjen genom origo och  $\nu$  är kontraktionstalet, FAS Metod 454-98.

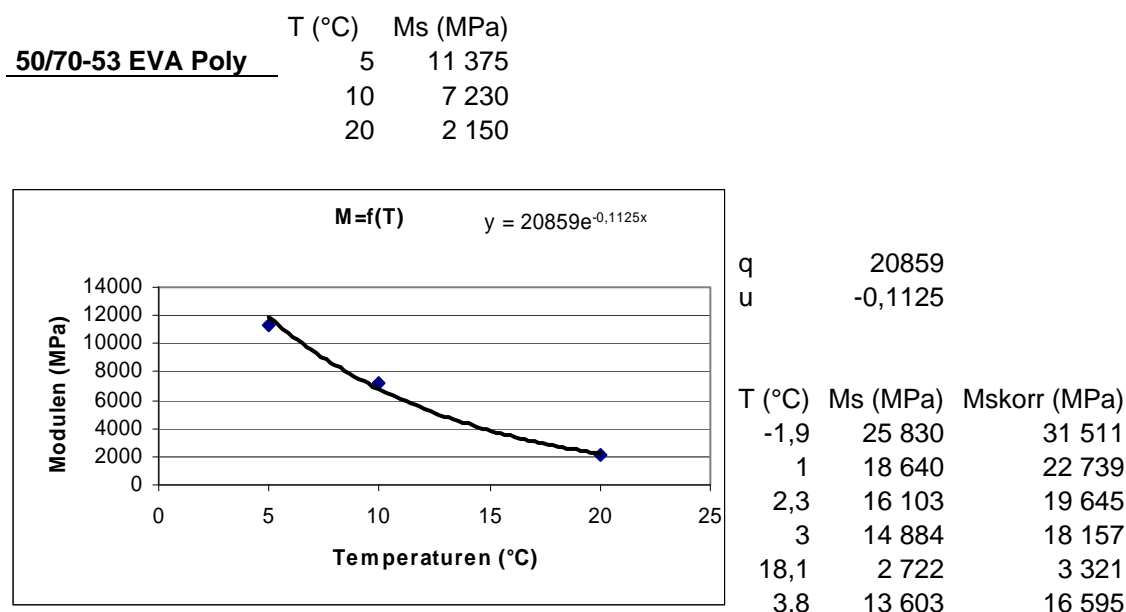


### 5.3 Modulframtagning med regressions samband

De moduler som används i denna rapport är framtagna med pulserande pressdragprov, enligt kapitel 5.1, för tre olika temperaturer; 5, 10 och 20°C. Dessa tre ger dock inte tillräckligt med information för att slutföra en livslängdsberäkning, varpå en regressionsanalys måste utföras. Regressionsanalysen genomförs lämpligast med Excel genom att plotta de moduler som tillhör respektive temperatur. Då erhålls 3 punkter vilket är tillräckligt för att infoga en trendlinje. Trendlinjens ekvation identifieras i samband med regressionsanalysen, vilket är samma uttryck som ges av formel 17.

$$M_s = q \cdot e^{(u \cdot T)} \quad (17)$$

Genom Excels trendlinjefunktion löses konstanterna  $q$  och  $u$  för just det materialet som undersöks. Sedan beräknas styvhetsmodulen för de övriga temperaturerna genom att sätta in den temperatur  $T$  som önskas (de temperaturer som är aktuella och anges av klimatzon, se tabell 2) i formel 17. Figur 6 ger ett exempel på regressionskurva för 50/70-53 EVA Poly (ett material som studeras i denna rapport) med beräknade moduler utifrån önskade temperaturer.



Figur 6. Regressionskurva för 50/70-53 EVA Poly inklusive beräkning av moduler.

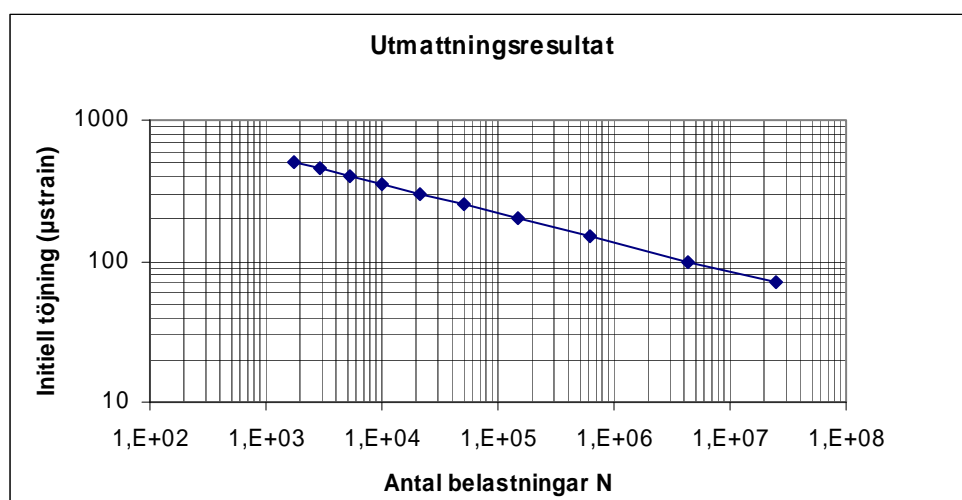
I figur 6 redovisas de aktuella modulerna  $M_{skorr}$  som nyttjas i PMS-objekt vid beräkning av töjningarna. De definierade punkterna som anses ge störst töjningar redovisas i kapitel 7.

## 6 Utmattning

De material som finns på provvägen och som NCC och VTI har testat för styvhetsmoduler har även provats för utmattning. Vid utmattningsprovning finns ett flertal varianter på tester. I Sverige är pulserande pressdragprovning den mest förekommande metoden, Asfaltboken (1999), och det är också den som VTI använt för att ta fram antal belastningar till brott, Said (2006-2007).

Vid framtagning av styvhetsmoduler med pulserande pressdragprovning pressas provet upprepande gånger utan att provet går till brott, vilket ger modulen. Däremot i utmattningsprovningen pressas provet upprepade gånger tills det går till brott. Det antal gånger provet blivit pressat tills det att det går sönder är värdet på antalet belastningar som materialet klarar, och antalet belastningar till brott definierar livslängden. Provets horisontella deformation mäts kontinuerligt under pressdragprovningen vilket ger töjningarna för det aktuella materialet vid olika antal belastningar. Asfaltboken (1999). Horisontella töjningarna mäts med givare placerade på var sin sida av provet, se figur 3.

I figur 7 visas ett exempel på resultatet av en utmattningsprovning som utförts på materialet 50/70-53 EVA Poly.

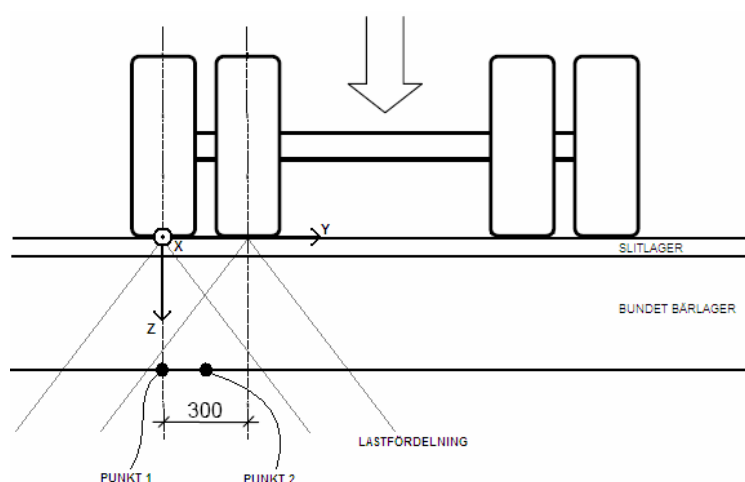


Figur 7. Utmattningskurva för 50/70-53 EVA Poly.

Dessa utmattningskurvor är användarvänliga då olika material skall jämföras. Som exempel kan en töjning på t.ex. 80 µstrain undersökas för flera material, dvs. vilken livslängd varje material har för just den töjningen. Då ges bl.a. en uppfattning om hur styvt eller flexibelt materialet är. I bilaga 4 finns utmattningsresultat för samtliga materialsorter.

## 7 Töjningslägesdefinition

Vid givna moduler och lagertjocklekar kan PMS-objekt beräkna töjningar på angiven punkt i vägkroppen. Punkten anges med koordinater bestämda utifrån en hjulaxel på en lastbil. Det finns två punkter där lasten antas vara som störst, antingen mitt under ett hjul eller mitt emellan två hjul och i underkanten av det bitumenbundna lagret. Figur 8 beskriver koordinater och lastfördelning.



Figur 8. Definition av koordinater för antagen maxtöjning.

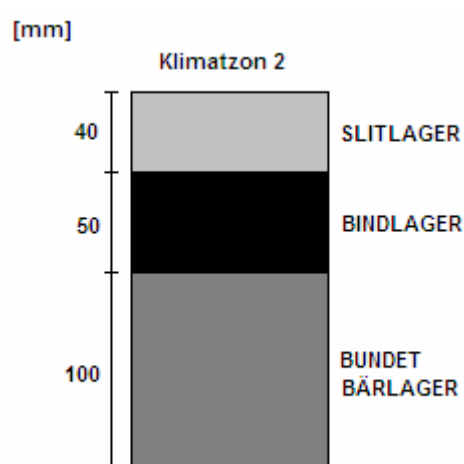
Enligt figur 8 är koordinaterna orienterade så att x går längs med vägen, y går tvärs vägen och z går nedåt i vägkroppen. Töjningen som är intressant finns belägen längst ner i det bundna bärlagret. Antingen då  $y = 0$  eller då  $y = 150$ . Enheten är mm. Töjningarna i z-led försummas då dessa töjningar ej anses vara lika relevanta vid livslängdsberäkning. Dessa är dock intressanta för obundet material.

## 8 Vägkonstruktionslager

Två varianter av lagerföljder av det bitumenbundna lagren har analyserats. Den första baseras på provväg E6 sträckan Geddeknippen – Kallsås, se figur 9. När det gäller MJAG: s bitumenbundna lagerföljd är den antagen enligt figur 10, Enocksson (2006-2007). Dessa två lagerföljder befinner sig i två olika klimatzoner – 2 och 4. Se bilaga 1 för lokalisering av klimatzonerna.

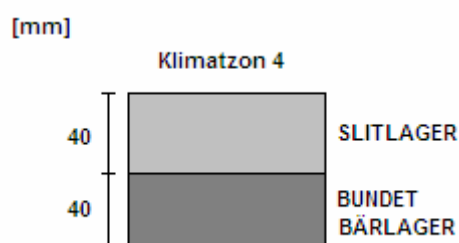
### 8.1 Bitumenbundet lager

Den första bundna lagerföljden är baserad på en typisk motorvägskonstruktion. På det 100 mm tjocka bundna bärlaget ligger ett bindlager med tjockleken 50 mm. Längst upp finns ett 40 mm tjockt slitlager, se figur 9.



Figur 9. Lagerföljd för konstruktion med material från Provväg E6 Geddeknippen – Kallsås.

Den andra varianten på bunden lagerföljd är vanligt förekommande på mindre landsvägar. Den består av ett 40 mm tjockt bundet bärlager och därefter ett 40 mm tjockt slitlager, se figur 10.

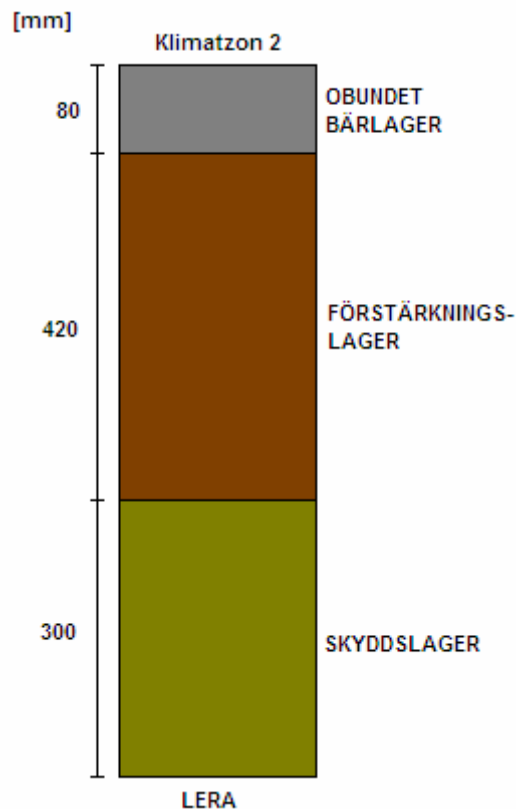


Figur 10. Lagerföljd för konstruktion med mjukjord asphaltgrus (MJAG), bitumenbundet.

## 8.2 Icke bitumenbundet lager

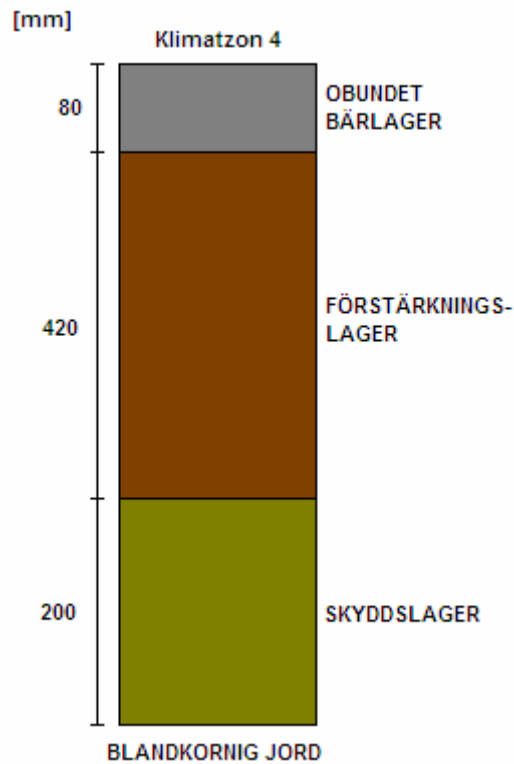
De övriga lagren i väggroppen har valts utifrån vad som är vanligt förekommande i de aktuella klimatzonerna. Antagen lagerföljd för de två olika vägarna, se figurer 11 och 12.

Lagerföljden i klimatzon 2 består av fyra olika delar. Undergrunden består av lera som är vanligt förekommande i klimatzon 2. Därefter följer ett skyddslager på 300 mm, ett förstärkningslager på 420 mm, och slutligen ett obundet bärlager som är 80 mm tjockt, se figur 11.



Figur 11. Obunden lagerföljd för provväg E6 Geddeknippen – Kallsås.

Även lagerföljden i klimatzon 4 består av 4 delar. I klimatzon 4 är den mest förekommande undergrunden blandkornig jord, t.ex. morän. Skyddslagret är lite tunnare med en tjocklek på 200 mm. I övrigt har förstärkningslagret och det obundna bärlaget samma tjocklekar som konstruktionen för klimatzon 2.



Figur 12. Obunden lagerföljd för konstruktion med mjukjord bitumen (MJAG).

Dessa två lagerföljder, som inte består av bundet material, används enbart vid beräkningar i PMS-objekt. De ger inte några större effekter på livslängdsberäkningarna i denna rapport, då livslängden grundar sig på töjningar i underkant bundet bärlager.

## 9 Materialegenskaper

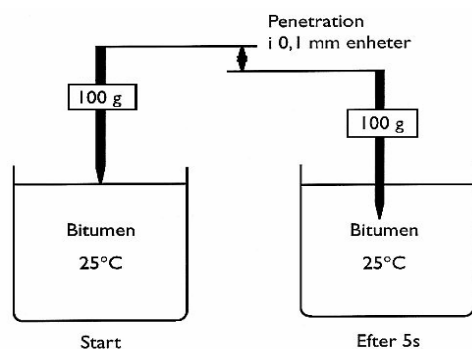
Det är viktigt att få den rätta sammansättningen av materialen som används vid vägbeläggningar då det är massans sammansättning som är den avgörande faktorn för konstruktionens livslängd. Nedan redovisas några mätningar som är viktiga och som utförs för att bestämma egenskaperna hos asfalten, Asfaltboken (1999).

### 9.1 Hålrums halt

Hålrums halten är en viktig parameter då låga hålrums halter ger god stabilitet och risken för utmattning blir liten. Det är dock viktigt att hålrummet i asfalten inte fylls helt då detta medför att asfalten blir instabil sommartid som en följd av höga temperaturer. Värmen på sommaren gör också att volymen ökar vilket medför att stenskelettet trycks isär och deformationer i asfalten uppstår. Hålrums halten anges i procent, Asfaltboken (1999).

### 9.2 Penetration

Penetration är ett mått på hur styvt/hårt bitumenet är. Den fastställs genom ett penetrationstest. Penetrationstestet utförs genom att en standardiserad nål sjunker av en vikt på 100 g ner i ett noggrant tillverkat bitumenprov som håller en temperatur av 25 °C, se figur 13, Asfaltboken (1999).



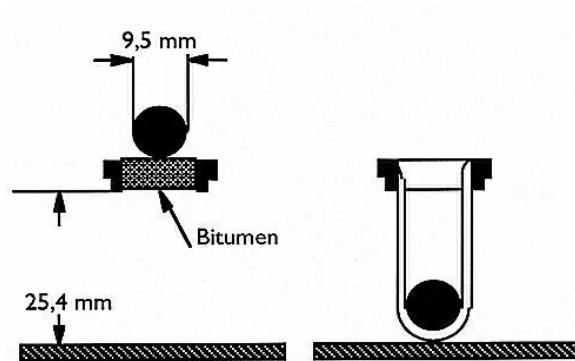
Figur 13. Skiss av penetrationstest, Asfaltboken (1999).

Ett lågt penetrationsvärde medför hårt bitumen och ett högt värde medför ett mjukt bitumen. Man anger penetrationstalet inom ett intervall (ex 160/220) då det är svårt att få exakta blandningar, Asfaltboken (1999).

### 9.3 Mjukpunkt

Genom att placera ett bitumenprov på en ställning och placera detta i ett bad fastställs mjukpunkten. En 3,5 grams kula med diametern 9,5 mm placeras på provet som sedan får falla genom bitumenprovet. Kulan sjunker genom provbiten genom att man ökar vattenbadets temperatur och därmed bitumenets temperatur. Mjukpunkten sätts till

den temperatur som krävs för att få denna kula att sjunka 25,4 mm, se figur 14, Asfaltboken (1999).



Figur 14. Skiss över ett mjukpunktstest, Asfaltboken (1999).

## 9.4 Bindemedelshalt

Bindemedelshalten avgörs oftast av kornstorleksfördelningen på stenmaterialet. Som namnet antyder är bindemedelshalt andelen bindemedel som omger stenmaterialet, Asfaltboken (1999).

## 9.5 Polymersort och polymerhalt

I denna rapport har bitumen med två typer av polymerer studerats (EVA och SBS). Av dessa två polymerer har EVA längst historia i samband med bitumen. Den tillsattes först för att öka bitumenets styvhet. Det visade sig att en inblandning av EVA även gav en ökad arbetbarhet vid låga temperaturer. SBS: n däremot är bättre om man vill ge blandningen en bättre elastisk förmåga, Hunter (2000).

Dessa två polymerers egenskaper redovisas i avsnitt 10.1. Där beskrivs också sammansättningen av de polymermodifierade bitumensorterna.



## 10 Alternativa material

Tre polymermodifierade bitumen, en AG (benämning AG 100/150) och en mjukgjord bitumen (MJAG) har studerats. Nedan redovisas även massaegenskaper för AG22.

### 10.1 Polymermodifierade

Polymerer tillsätts bitumen för att förbättra bitumenets egenskaper. Ett polymermodifierat bitumen gör bl.a. att mjukpunkten ökar, dvs. det sker en minskning av penetrationstalet, Hunter (2000).

Två typer av polymergrupper är aktuella vid anläggning av vägbeläggningar, elastomerer och plastomerer. Elastomererna tillsätts bitumenet då man strävar efter ökade elastiska egenskaper och plastomerer tillsätts då strävan är att få en högre styvhet, Asfaltboken (1999).

#### 10.1.1 50/70-53 SBS (Styren butadien sampolymerisat)

SBS polymer är en elastopolymer som inte smälter på samma sätt som t.ex. då en EVA blandas med bitumen, utan kräver ett mer komplicerat blandningsförfarande, Hunter (2000).

Anledningen till att SBS ger en så bra effekt i bitumen är att den vid en viss temperatur är helt löst i bitumen. Vid nedkylningen kristalliserar sedan styren och bildar ett nätverk sammanhållet av butadienedjorna. Detta gör att man får gummiliknande egenskaper, även med måttligt inblandning av SBS i bitumen, Asfaltboken (1999).

SBS-modifierade bitumenet har ett penetrationstal mellan 50-70 och mjukpunkten större eller lika med 53, Ulmgren, Aksell (2005).

#### 10.1.2 50/70-53 EVA (Etylen vinylacetat)

EVA är en termoplastisk polymer som smälter då den blandas i varmt bitumen. Detta gör att det är enkelt att erhålla en tillräcklig spridning av polymermolekylerna i bitumenet, Hunter (2000). Den bildar däremot inget nätverk såsom SBS utan fungerar mer som en filler i bitumen, dvs. man fyller ut bitumenet för att förändra dess egenskaper, Asfaltboken (1999).

Det bitumenet som modifierades med EVA har penetrationstal i intervallet 50-70 och en mjukpunkt lika med materialet som är modifierat med SBS, Ulmgren, Aksell (2005).

#### 10.1.3 AG 100/150-75

Detta material är ett polymermodifierat asfaltgrus innehållande SBS. Penetrationstalet befinner sig i intervallet 100-150 och materialet har en mjukpunkt på 75. Detta betyder att materialet är styvt pga. det låga penetrationstalet (jämfört med AG22) men också pga. den högre mjukpunkten, än t.ex. jämfört med EVA, Ulmgren, Aksell (2005).

## **10.2 MJAG (Mjukjord asfaltgrus)**

Mjukjord asfaltgrus används ofta vid lite mindre landsvägar men är dock i första hand ett intressant alternativ som förstärkningsåtgärd på vägar i kallt klimat. Materialet är en av de beläggningar som har de bästa flexibilitetsegenskaperna. Egenskaperna är i hög grad beroende på egenskaperna hos det bindemedel som används. Den MJAG som tittats på i denna undersökning har tillverkats i laboratorium.

## **10.3 AG 100/150**

Detta är ett asfaltgrus med bitumen som har ett penetrationstal mellan 100-150, dvs ett material som är något styvare än AG22, Ulmgren, Aksell (2005).

## **10.4 Standard AG22**

Vid beräkningarna har två olika varianter av ett och samma material (AG22) testats i modellen. Detta för att avgöra hur modellen stämmer överrens med förväntade resultat. Totalt används tre AG22, en AG22 med materialparametrar från ATB-väg och de två nedan; AG22 160/220 och AG22 d100. AG22 är det material som används vid alla beräkningarna i modellen och de två nedan är variabla material.

### **10.4.1 AG22 160/220**

I rapporten används AG22 160/220 som benämning på denna AG22 som är tagen från provvägen Geddeknippen – Kallsås. Provkropparna har diametern 150 mm. Provresultat är hämtat från Ulmgren, Aksell (2005).

### **10.4.2 AG22 d100**

Provresultat är hämtat från Said (1998). Proverna utfördes på en provkropp med diameter av 100 mm.

## 11 Antaganden

Asfalt är en massa som rent beräkningsmässigt är svårdefinierad eftersom materialet inte är homogent. När det gäller beräkningsmetoder för bestämning av spänningar och töjningar är metoder baserade på linjär elasticitetsteori vanligast förekommande, t.ex. PMS-objekt. Vid beräkningar enligt elasticitetsteorin förutsätts att ingående material är elastiska, homogena och isotropa, vilket inte är fallet för vägbyggnadsmaterial. Dock accepteras ändå elasticitetsteorin och motiveras bland annat med att belastningarna från trafiken är kortvariga med små deformationer vid varje fordonsöverfart, *Asfaltboken* (1999). De dynamiska effekterna och icke-linjäriteterna ger små ändringar i töjningar och spänningar. Enda sättet att egentligen få reda på detta är att först göra beräkningar och sedan i praktiken mäta töjningar och spänningar i en riktig väggkropp. Därefter jämförs dessa värden med varandra. Med dagens styvhetsmoduler blir jämförelsen tillräckligt korrekt, Ullidtz (1998).

## 12 Resultat

Resultatet är uppdelat i nio avsnitt där olika faktorer analyseras. Kapitlet innehåller även en värdering av utmattningsresultat, en känslighetsanalys och en beräkningsgång.

### 12.1 Möjliga fel i resultatet

Det är givetvis svårt att få exakta siffror vid införskaffning av indata. Detta kan medföra att resultatet inte redovisar korrekta värden. Det finns alltid ett visst antal faktorer som gör att man måste acceptera vissa felmarginaler. Asfalten och vägar i sig är ju material som är inhomogena, Hunter (2000), och man kan omöjligt veta om de förutsättningar som man anger vid dimensioneringen gäller. Det finns ju även en liten risk att man inte avläser instrumenten vid laboratorietesterna exakt trots att man är noggrann. Vid bestämning av modulerna för temperaturer som inte var givna uppstår ju ett eventuellt fel då man antar en funktion genom enbart tre punkter, enligt kapitel 5.2 i denna rapport. Vid bestämning av bitumenets egenskaper accepteras ett spann vid penetrationstalet, ATB-väg. Detta summerar att det finns en viss acceptans till att resultaten av jämförelsen avviker något, och att eventuella vidare undersökningar kommer att visa andra siffror än vad som redovisas i denna rapport.

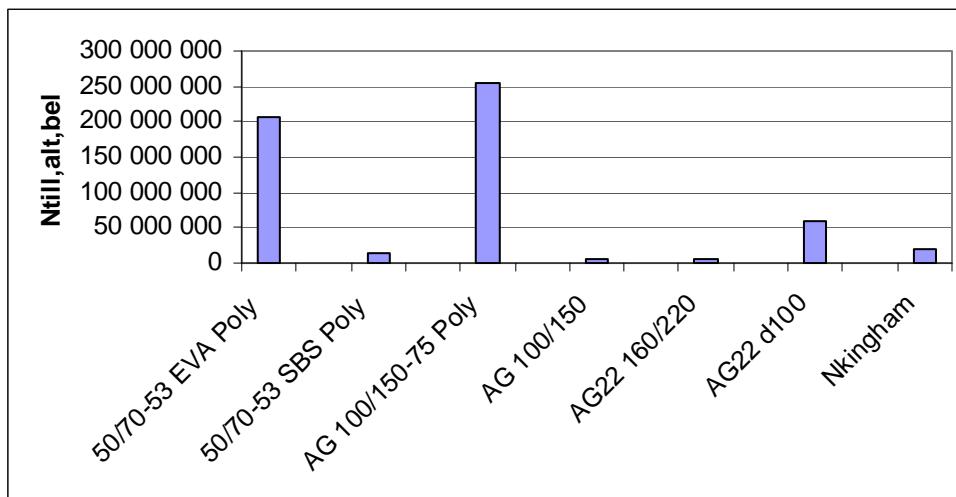
### 12.2 Livslängder hos alternativa material jämfört med AG22

Vid starten av detta arbete antogs konstanten  $c$  till samma värde för de alternativa materialen som för AG22, alltså 2,28 men att övriga konstanter hämtades från utmattningsprovning för vart och ett av de alternativa materialen. Detta för att göra det möjligt att genomföra en beräkning av livslängden för de olika materialen då konstanten  $c$  inte är definierad för alternativa material. I figur 15 redovisas livslängden  $N_{till.alt.bel}$  efter sammanslagning.

$N_{Kingham}$  är beräknad med PMS-objekt och tillhörande tabellerade standardmoduler, alltså med formel 18 och 19, som även beskrivs i avsnitt 4. Denna representerar AG22.

$$N_{bb,i} = f_s \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8 \cdot T_i + 32)}}{\epsilon_{bb,i}^4} \quad (18)$$

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (19)$$



Figur 15. Diagram över livslängderna  $N_{till, alt, bel}$  med konstanten  $c$  antagen till 2,28 samt  $N_{Kingham}$  beräknad med PMS-objekt.

I figur 15 förekommer det ytterligare två AG22 med benämningen AG22 160/220 samt AG22 d100. Dessa representerar AG22, men med konstanterna  $a_2$  och  $b$  från två separata utmattningsprovningar. Livslängden är beräknad utifrån formel 20 och 21.

$$\text{Log}(N_f) = a_2 - b \cdot \text{Log}(\varepsilon) - 2,28 \cdot \text{Log}(M_s) \quad (20)$$

$$N_{till, bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb, i}}} \quad (21)$$

$$M_s = 1,54 \cdot 10^4 \cdot e^{(-0,065 \cdot T)} \quad (22)$$

För beräkning av styvhetsmodulen för dessa material har ekvation 22 använts. Alltså modulformeln som är validerad utifrån provkroppar med AG22. Töjningarna  $\varepsilon$  beräknas utifrån dessa moduler och utförs i PMS-objekt. Dessa beräkningar resulterar i en faktor 0,23 för AG22 160/220 respektive 2,96 för AG22 d100. För övriga material används samma beräkningsmönster men med konstanterna  $a_2$  och  $b$  från utmattningsprovningar för respektive materialtyp. Utöver detta har styvhetsmodulformeln 23 tagits fram, enligt kapitel 5.2 i denna rapport, där konstanterna  $q$  och  $u$  bestäms för det specifika materialet som beräkningen gäller.

$$M_s = q \cdot e^{(u \cdot T)} \quad (23)$$

Efter dessa beräkningar har sedan sammanslagningen 24 nyttjats för samtliga material förutom  $N_{Kingham}$  då detta material är jämförelsematerialet.

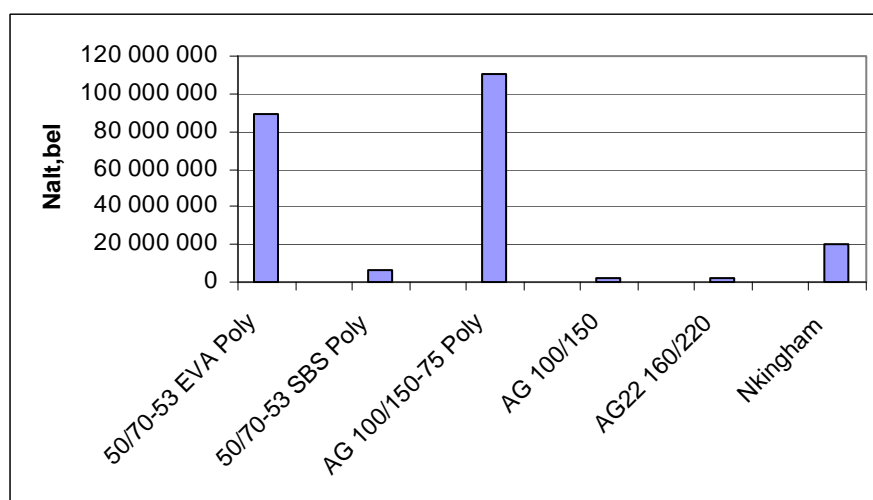
$$\frac{N_{alt, bel}}{N_{std, bel}} \cdot N_{till, Kingham} = N_{till, alt, bel} \quad (24)$$

För att få en uppfattning om hur förhållandet blir vid en beräkning av livslängden med enbart labbformel 25, och med hänsyn till klimatperioder enligt formel 26 så har denna beräkning genomförts och redovisas i figur 16.

$$\text{Log}(N_f) = a2 - b \cdot \text{Log}(\varepsilon) - 2,28 \cdot \text{Log}(M_s) \quad (25)$$

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (26)$$

Vid denna jämförelse är det aktuellt med en korrigering av livslängderna enligt kapitel 2.3.3 i denna rapport, det vill säga  $N_{alt.bel}$  i figur 16 är multiplicerat med en faktor 10. Detta för att det ska vara relevant att jämföra med AG22, orsaken presenterades i avsnitt 2.3.3. I figur 16 är stapeln med benämning  $N_{Kingham}$  den som representerar AG22 och beräknad enligt tidigare resonemang för detta material. Det har alltså inte beräknats någon sammanslagning av livslängderna i figur 16.



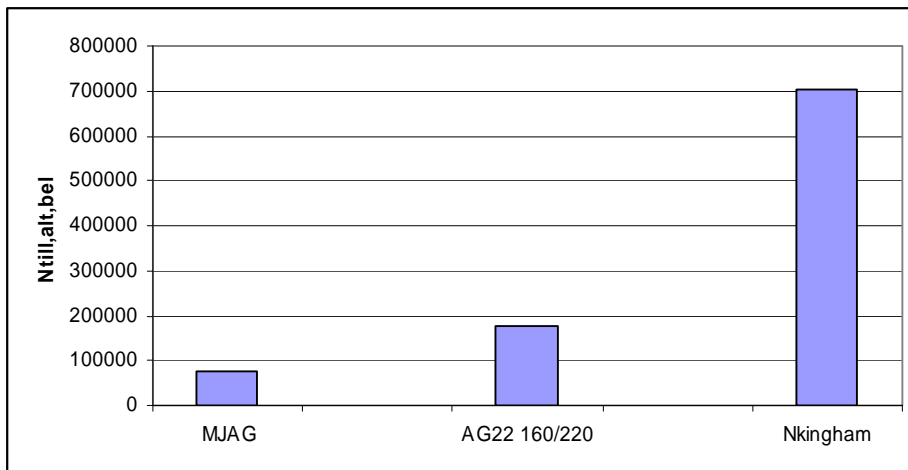
Figur 16. Diagram över livslängderna  $N_{alt.bel}$  med konstanten  $c$  antagen till 2,28.

Som väntat ligger staplarnas värde av dessa två jämförelser (livslängder i figur 15 jämfört med livslängder i figur 16) i proportion till varandra för vart och ett av materialen. Alltså AG100/150-75 Poly för  $N_{alt.bel}$  antar värden i liknade proportion till AG22 ( $N_{Kingham}$ ) som den gör vid samma jämförelse av  $N_{till.alt.bel}$ .

Eftersom både 50/70-53 EVA och AG 100/150-75 Poly ger en så kraftig ökning av livslängden jämförelsevis med  $N_{Kingham}$  så dras slutsatsen av detta att det antagna värdet för konstanten  $c = 2,28$  inte möjligtvis ger relevanta livslängder för de alternativa materialen. Det blev därför intressant att titta närmare på konstanten  $c$  och se vad som händer om den varierar något. Resultatet av detta redovisas i kap 12.4.

## 12.3 Livslängd MJAG jämfört med AG22

Eftersom MJAG är ett material som används i en annan lagerföljd, se figur 10, än de andra alternativa materialen, krävs en separat jämförelse. Detta innebär att livslängdsberäkning också utförts på en lagerföljd som motsvarar den valda i klimatzon 4, med AG22: s konstanter tagna från utmattningsprovningar. Precis som i kapitel 12.2 tas  $N_{Kingham}$  med i jämförelsen och denna är baserad på standardiserade moduler från ATB-väg och är beräknad i PMS-objekt med lagerföljd enligt figur 10. De tre livslängderna redovisas i figur 17.



Figur 17. Diagram över livslängderna  $N_{till.alt.bel}$  med konstanten  $c$  antagen till 2,28 samt  $N_{Kingham}$  med PMS-objekt.

I kapitel 12.2, figur 15, är det uppenbart att  $N_{Kingham}$  och AG22 160/220 skiljer sig kraftigt i livslängd. Samma sak gäller för lagerföljden i klimatzon 4, se figur 17. Som i kapitel 12.2 dras även här samma slutsats, dvs. att konstanten  $c = 2,28$  troligtvis inte ger relevanta livslängder.

## 12.4 Variation av konstanten $c$

För att avgöra om resonemanget i avsnitt 12.2 var korrekt utfördes till att börja med en analys av materialet 50/70-53 EVA Poly genom att använda andra värden av konstanten  $c$ . För att se hur livslängden förändrades om konstanten antas ha ett värde som ligger över och under värdet 2,28 valdes värdena 1, 2, 3.5 samt 4.5 för  $c$ . Dessa olika värden på konstanten  $c$  har använts i formel 27.

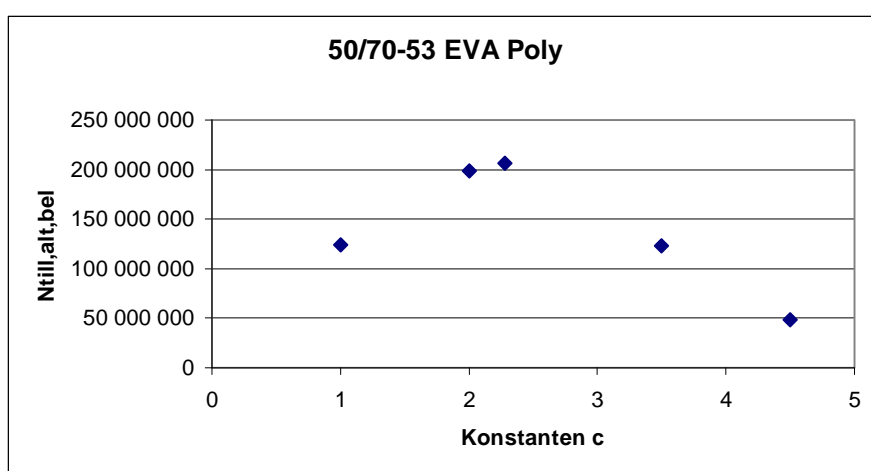
$$\text{Log}(N_f) = a2 - b \cdot \text{Log}(\varepsilon) - c \cdot \text{Log}(M_s) \quad (27)$$

Övriga konstanter har bestämts för materialet 50/70-53 EVA Poly och redovisas i bilaga 3 och gav värden för  $a2$  och  $N_{till.alt.bel}$  enligt tabell 3.

Tabell 3. Sammanställning av hur livslängden och konstanten  $a_2$  varierar då konstanten  $c$  antar olika värden för materialet 50/70-53 EVA Poly.

$a_2$	$b$	$c$	$N_{till.alt.bel}$
20,22	4,86	1	123 648 469
24,08	4,86	2	199 099 929
25,16	4,86	2,28	206 211 550
29,87	4,86	3,5	123 055 543
33,73	4,86	4,5	47 972 634

Dessa fem beräknade livslängder utifrån konstruktion med bärlagermassa av 50/70-53 EVA Poly, redovisade i figur 18. Enligt 13 är  $a_2$  beroende av  $c$  och därför varierar denna parameter också vid förändring av  $c$ .

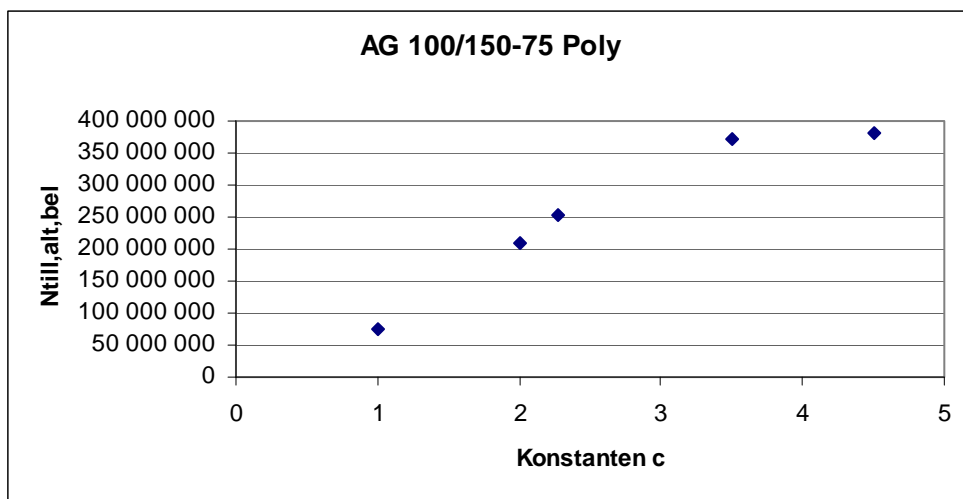


Figur 18. Livslängden  $N_{till.alt.bel}$  i proportion till konstanten  $c$  för konstruktion med bärlager av 50/70-53 EVA Poly.

Det visar sig att genom att välja konstanten  $c$  till ett annat värde än 2,28 så resulterar det i stora variationer av livslängden  $N_{till.alt.bel}$ . I figur 18 belyses också att konstanten  $c = 2,28$  ger den maximala livslängden, vilket förklarar den stora ökningen som redovisades i figur 15 och 16. Detta resultat visar att det troligtvis inte går att välja konstanten  $c$  till att vara densamma för alternativa material som den är för AG22, alltså  $c = 2,28$ .

Då även AG 100/150-75 Poly gav en kraftig ökning enligt figur 15 undersöktes även denna materialtyp på samma sätt. Detta för att se om det skulle kunna vara en likvärdig variation av livslängden för detta material som den är för 50/70-53 EVA Poly då man ändrar konstanten  $c$  inom ett liknande intervall.

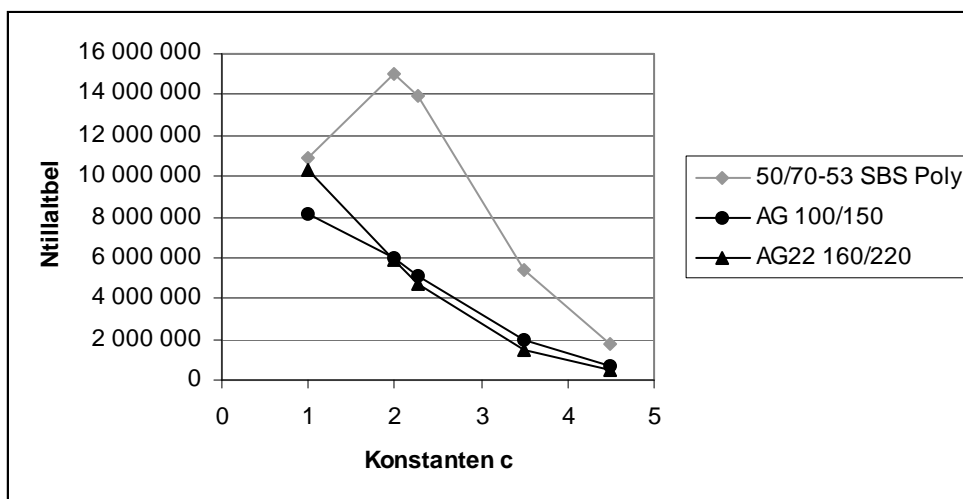




Figur 19. Livslängden  $N_{till.alt.bel}$  i proportion till konstanten  $c$  för konstruktion med bärlager av AG 100/150-75 Poly.

Figur 19 visar hur livslängden varierar då  $c$  väljs utifrån de värden som angavs tidigare i kapitlet för konstruktion med materialet AG 100/150-75 Poly. Då det gäller AG 100/150-75 Poly skiljer den sig avsevärt då man jämför den med 50/70-53 EVA Poly. För materialet AG 100/150-75 Poly visas i figur 19 att livslängden för konstanten 2,28 ger ungefär 250 000 000 vilket är sånär som ett medelvärde för livslängden av detta material.

Det vore intressant att studera hur detta förhållande ser ut för de andra alternativa materialen då man varierar konstanten  $c$  på samma sätt för övriga material, detta redovisas i figur 20.

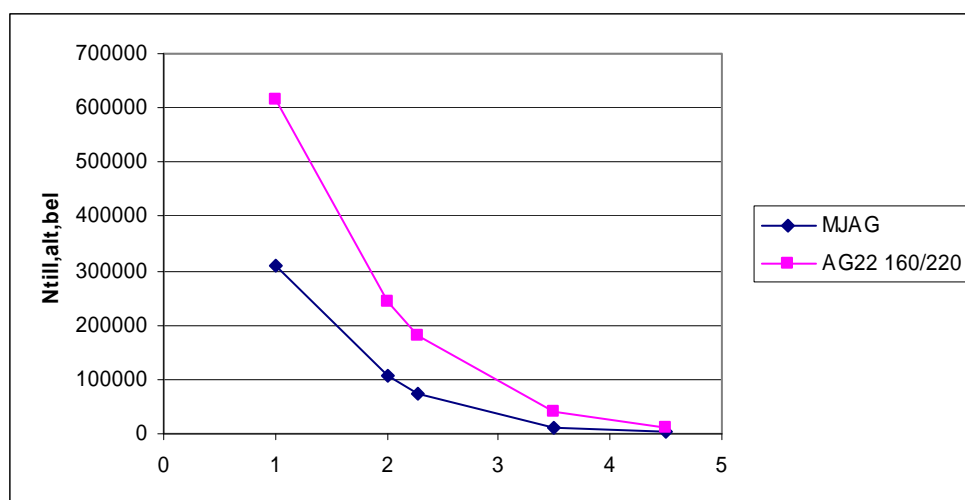


Figur 20. Variation av konstanten  $c$  för övriga konstruktioner med bärlagermassa av övriga material.

För materialen 50/70-53 SBS Poly och 50/70-53 EVA Poly har kurvorna liknande tendenser, alltså värdet av  $N_{till.alt.bel}$  då konstanten  $c$  väljs till ett värde av ca 2 antar

dessa max värden. Då det gäller AG100/150 och AG22 160/220 antar dessa ett ca medelvärde för ett val av  $c = 2,28$ . Men det intressanta uppstår då AG 100/150-75 Poly plottats och denna tenderar att öka i livslängd då konstanten  $c$  ökas. AG 100/150-75 Poly ger dock ett ca-medelvärde av livslängden vid valet av konstanten  $c$  runt 2.

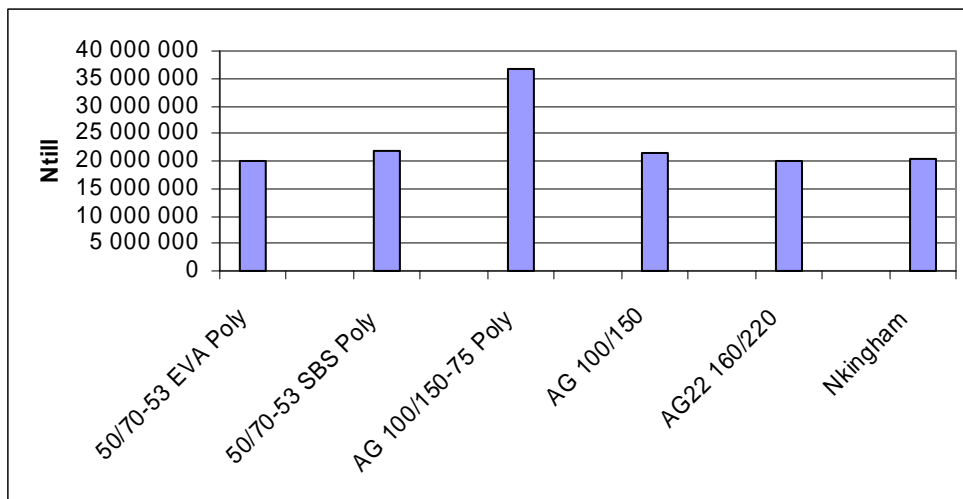
För klimatzon 4 och dess lagerföljd, plottas MJAG: s variation i livslängd med avseende på konstanten  $c$  i ett separat diagram, figur 21. Där finns även AG22 160/220 plottad med lagerföljd enligt klimatzon 4. Vid jämförelse mellan figur 20 och figur 21 visas att utseendet på AG22 160/220 och dess kurvform inte skiljer sig nämnvärt då materialet sätts in i en annan lagerföljd.



Figur 21. Variation av konstanten  $c$  för MJAG och AG22 160/220 med lagerföljd enligt klimatzon 4.

## 12.5 Jämförelse med standardkonstanter

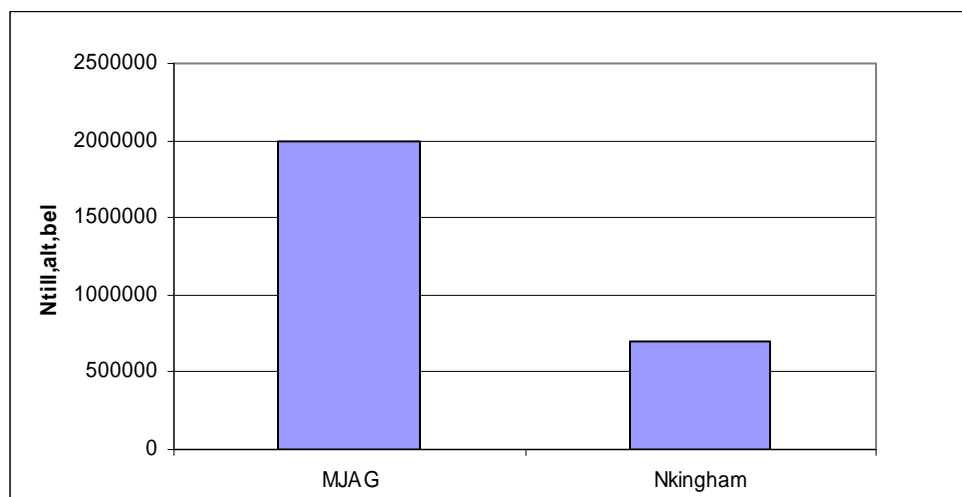
De konstanter som används vid analysen i avsnitt 12.3 ovan baseras på utmattningsprovningar av de specifika materialen som studerats. För att avgöra hur skillnaden mellan en jämförelse av materialen blir då man nyttjar standardkonstanterna, genomförs en beräkning av  $N_{alt.bel}$  genom formel 8. Vad som använts som specifikt för de alternativa materialen har varit styvhetsmodulen. Tanken var att använda formel 6 och låta enbart styvhetsmodulen vara variabel. Töjningarna beror av modulerna vilket medför att töjningarna också varierar.



Figur 22. Livslängden med standardkonstanter för samtliga material i klimatzon 2.

Då man använder standardkonstanter hamnar livslängderna för de olika materialen i ett mycket smalare spann, se figur 22. Man kan även se att livslängderna hamnar närmare AG22: s ( $N_{Kingham}$ ) livslängd. För alla alternativa bärlager (utom AG 100/150-75 Poly) ligger förändringen av livslängden inom ca 2 500 000. För AG 100/150-75 Poly har den ökat med ca 16 000 000.

Då standardkonstanter används för MJAG och dess lagerföljd ser fördelningen ut enligt figur 23. Vid dessa beräkningar har standardkonstanter använts enligt ekvation 8.



Figur 23. Livslängden med standardkonstanter för MJAG i klimatzon 4.

I figur 23 skiljer sig MJAG och  $N_{Kingham}$  med ca 1 250 000 standardaxlar. Då resultatet i figur 17 jämförs med resultatet i figur 23 ges olika livslängder på MJAG i förhållande till  $N_{Kingham}$ . Då konstanter från provkroppar används i ekvation 8 ger det ca en sjundedel av livslängden av  $N_{Kingham}$  jämfört med materialet MJAG. Då det

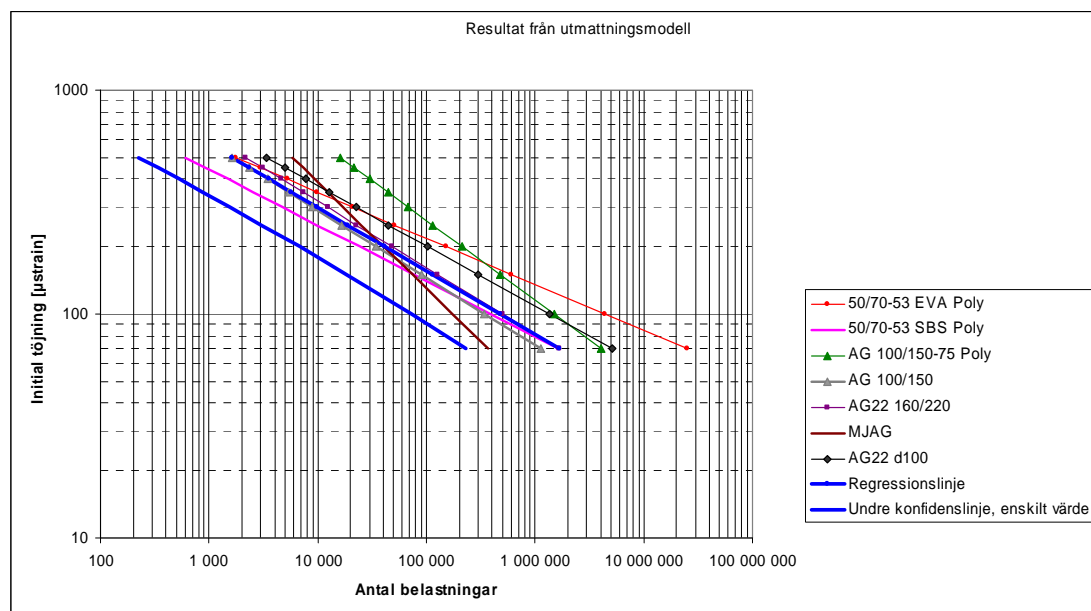
istället ger drygt dubbelt så lång livslängd för MJAG jämfört med  $N_{Kingham}$ . Detta visar ytterligare att valet av konstanter är väldigt avgörande för vilka resultat som erhålls.

## 12.6 Värdering av utmattningsresultat

I figur 24 är utmattningskurvor för samtliga alternativa material inlagda. Det är även inlagt utmattningskurvor för AG22 uträknat med PMS-objekt (kallad regressionslinje) där standardkonstanterna är använda enligt formel 8. Till denna är det även inlagt ett undre 90-procentigt konfidensintervall (kallad undre konfidenslinje). Detta för att avgöra hur stor spridningen är av de alternativa materialens utmattning jämfört med PMS-objekts framräknade utmattning.

Vad som inses är att om ett övre 90-procentigt konfidensintervall skulle appliceras på kurvorna, skulle de flesta materialen hamna innanför detta intervall. Skillnaden på vissa kurvor, jämfört med AG22: s kurva, är att de lutar olika. Lutningen bestämmer egenskaper för materialen, vilket syns tydligt på MJAG som lutar brantare än övriga då detta material har lägre styvhet. Men om det fokuseras på de material som har snarlik lutning och hamnar inom detta konfidensintervall, skulle då möjligtvis standardkonstanterna enligt formel 8 kunna tillämpas även på de alternativa materialen. Det skulle betyda att enbart styvhetsmodulen agerar som avgörande parameter för livslängdsberäkningen.

Dock finns det i denna rapport inte tillräckliga belegg för att fastställa huruvida detta påstående är sant. Problemet är värt att ha i åtanke men anses kräva fortsatta studier.

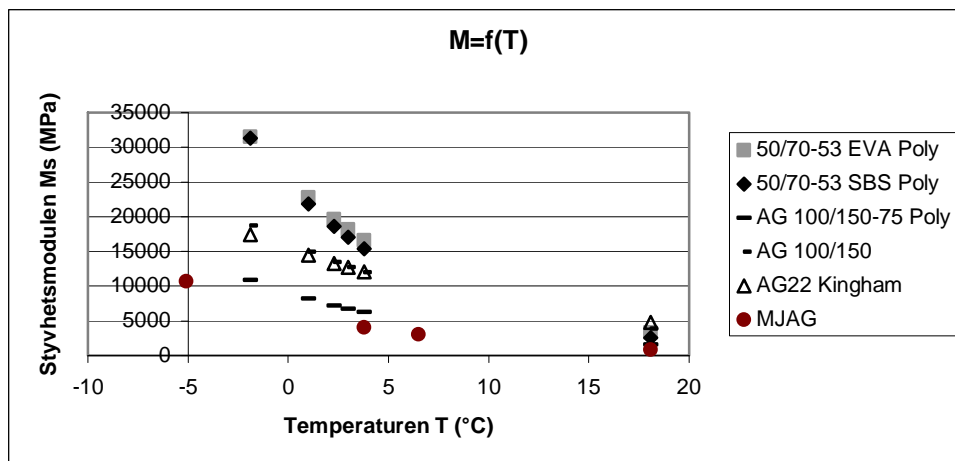


Figur 24. Utmattningskurvor för de olika materialen.

## 12.7 Känslighetsanalys

Det är viktigt att en beräkningsgång som ska ligga till grund för en dimensionering av en vägkonstruktion inte är alltför känslig mot eventuella mindre fel som kan uppstå då indata väljs. Möjliga fel redovisas i kapitel 12.1. I denna rapport fokuseras på att variera styvhetsmodulen och konstanten  $c$ . För konstanten  $c$  har känsligheten för denna redan studerats i tidigare avsnitt så analysen av känsligheten nedan gäller enbart styvhetsmodulen  $M_s$ . Det bör tilläggas att konstanten  $a_2$  förändras då konstanten  $c$  ändras (som man kan se genom formel 13), vilket betyder att de beror av varandra. I övrigt är styvhetsmodulen den enda faktor som kan påverkas av t.ex. fel vid blandning eller mätning.

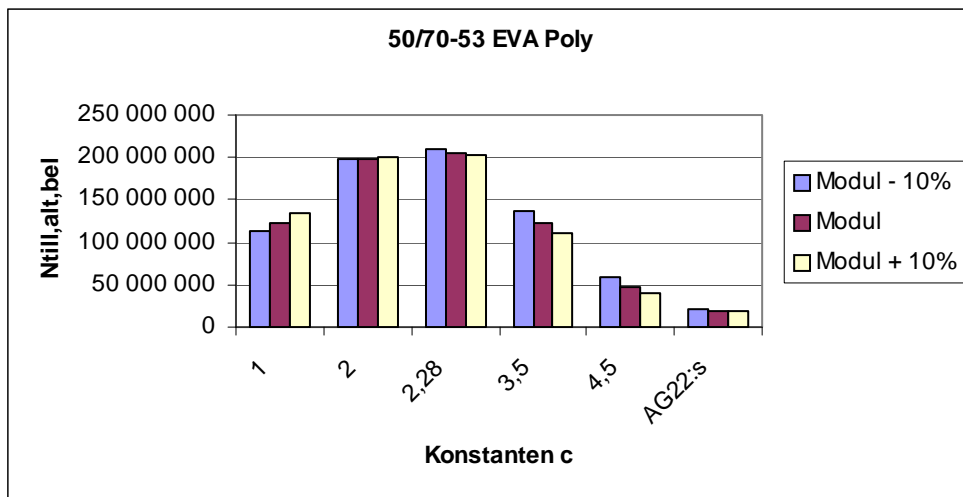
Hur modulen varierar i motsvarighet till temperaturen jämfört med AG22 redovisas i figur 25. MJAG materialet är mjukast med lägst moduler medan 50/70-53 EVA Poly har högst moduler vid temperaturer under 10°C enligt figur 25. Hur höga/låga modulerna är mellan ca 5 – ca 18°C är svårt att säga då det inte gjorts några beräkningar i detta intervall. I detta spann växlar materialet med högst modul från att vara 50/70-53 EVA Poly till att vara AG22 Kingham vid en temperaturen av ca 18°C.



Figur 25. Diagram över modulen som funktion av temperaturen.

Vad som också inses är att AG 100/150 har likvärdiga moduler som AG22 Kingham. Modulerna som representerar AG22 Kingham är ATB-väg: s tabellerade, dessa är anpassade (validerade). Detta är en anledning till att AG22 Kingham (PMS-objekt) som använder ett material som har lägre modul (AG22 med penetrationstal 160/220 som är ett mjukare material) men ändå har likvärdig modul med AG 100/150.

Vid en ökning respektive en minskning av styvhetsmodulen med 10 % av de uppmätta modulvärden från de provningsresultat som använts som indata är variationerna av livslängderna olika beroende på vilket  $c$  som väljs. Det är mindre skillnad enbart då man valt konstanten  $c$  till att vara 2 och då konstanterna har använts från AG22: s formel 8, se figur 26.

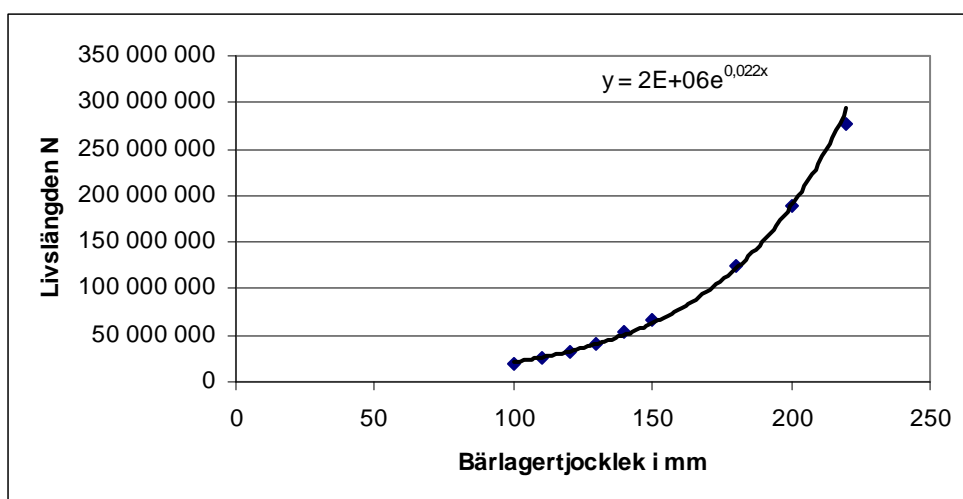


Figur 26. Diagram över hur livslängderna förändras vid ökning respektive minskning av modulen.

Även vid redovisningen i figur 26 kan vikten av valet av konstanten  $c$  urskiljas då livslängden för vägkonstruktionen varierar kraftigt.

## 12.8 Motsvarig bärlagertjocklek för AG22

De livslängder som beräknats fram för konstruktion med alternativa bärlagermaterial har visat sig skilja avsevärt då de jämförts med AG22 ( $N_{Kingham}$ ). För att åskådliggöra dessa livslängder på ett annat sätt, har nio beräkningar av  $N_{Kingham}$  genomförts. Den variation som redovisas i figur 27 beror på att tjockleken på bärlagret har varierats. Då det sker en ökning av tjockleken på bärlagret (bitumenbundet lager) ökar också konstruktionens livslängd.



Figur 27. Motsvarig bärlagertjocklek för AG22 materialet beräknat med PMS-objekt

Tanken med figur 27 är att med livslängden som beräknats för de alternativa materialen fastställa den tjocklek som krävs då ett bärlagermaterial av AG22 väljs som beräknats med PMS-objekt.

Tabell 4 redovisar de livslängder  $N_{till. alt. bet}$  som beräknats tidigare för de alternativa materialen. Genom dessa har sedan samma livslängd beräknats med formel 28, den som även visas i figur 27. Detta för att få mer exakta värden. Ett alternativ är att läsa av direkt i figur 27.

$$y = 2 \cdot 10^6 \cdot e^{(0,022 \cdot x)} \quad (28)$$

Tabell 4. Motsvarig bärlagertjocklek för AG22 för de livslängder som beräknats med konstanten  $c = 2,28$ .

Bärlagertyp	Livslängd	Tjocklek AG i mm
50/70-53 EVA Poly	206 211 550	211
50/70-53 SBS Poly	13 948 514	88
AG 100/150-75 Poly	254 122 277	220
AG 100/150	5 130 100	43
AG22 160/220	4 705 120	39

Enligt tabell 4 motsvarar den livslängd som beräknats för aktuell konstruktion enligt tidigare, och med bärlagermaterialtyp 50/70-53 EVA Poly, ett 211 mm tjockt bärlager av materialet AG22, beräknat med PMS-objekt. Alltså, det krävs 211 mm tjockt bärlager med AG22 för att erhålla samma livslängd som 100 mm tjockt bärlager av 50/70-53 EVA Poly.

## 12.9 Rekommenderad beräkningsgång

Beräkningsgången som redovisas nedan är den beräkningsgång som använts i denna rapport. Den är uppdelad i grova rubriker vilka i sin tur förklarar mer exakt.

### 12.9.1 Klimatzon

De alternativa bundna bärlagermaterialen som skall beräknas skall också passas in på lämplig klimatzon i Sverige. När klimatzon är identifierad finns klimatperioder redovisade i ATB-väg för respektive klimatzon. Härmed fås medeltemperaturer för varje klimatperiod och kan användas till att få fram rätt moduler.

### 12.9.2 Modulberäkning

För AG22 finns modulerna redovisade i ATB-väg för varje klimatperiod inom klimatzonerna. För andra alternativa material måste modulerna mätas. Dessa mätningar finns enbart gjorda för tre temperaturer 5, 10 och 20 °C, vilket betyder att en trendlinje skall upprättas för att få reda på ett större spann av temperaturer. Detta görs enklast i Microsoft Excel genom att plotta de tre givna temperaturerna och därefter infoga trendlinje i samma graf. Trendlinjen väljs så att spannet för denna innefattar de temperaturer för vilka moduler man söker. Nu kan modulerna enkelt läsas ut ur diagrammet. Om mer specifika värden på moduler söks, kan Excel också

infoga ett regressions samband för den plottade kurvan och modulerna kan beräknas med hjälp av formel 6.

### 12.9.3 Ålderskorrigering av moduler

Då moduler beräknas enligt formel 7, ATB-väg, är svaren anpassade för att motsvara en 2 till 4 år gammal beläggning. Det innebär att provkroppar yngre än så måste ålderskorrigeras. Ålderskorrigeringen utförs med formel 9, ATB-väg, och skall lämpligtvis sättas till 12 månader då detta är tillräckligt, Said (2006-2007). Observera att förutom ålderskorrigering måste en korrigering utföras då provkroppen är tillverkad på laboratorium. De är inte packade på samma sätt och kräver en justering. Detta genomförs enligt avsnitt 2.3.4.

### 12.9.4 PMS-objekt – töjningar

När rätt moduler erhållits för rätt klimatperioder kan dessa föras in i lagerföljden i PMS-objekt. Därefter används ”avancerad bärighetsberäkning” i programmet. I den delen definieras i vilken punkt som töjningarna skall beräknas i väggkroppen. Punkten väljs precis i botten på det bundna bärlagret. Detta definieras med hjälp av koordinater med enheten millimeter. Därefter låter man programmet beräkna töjningarna och dessa skrivs automatiskt i en fil som kan öppnas i Excel.

### 12.9.5 Livslängdsberäkning

Med hjälp av de beräknade töjningarna beräknas livslängden med formel 5. Livslängden beräknas för alla de olika klimatperioderna med respektive styvhetsmoduler. Därefter slås de klimatperiodrelaterade livslängderna ihop med formel 10. Detta ger en livslängd  $N_{alt.bel}$ .

### 12.9.6 Sammanslagning $N_{alt.bel}$ och $N_{std.bel}$

Då värdet på  $N_{alt.bel}$  oftast ej är ett rimligt värde på livslängden, används detta värde tillsammans med  $N_{std.bel}$ . Division  $\frac{N_{alt.bel}}{N_{std.bel}}$  ger ett förhållande som sedan multipliceras med  $N_{Kingham}$ , se formel 14.

### 12.9.7 Kortfattad beräkningsgång

Nedan följer en mer kortfattad beräkningsgång vilken redovisas punktvis.

- Beräkna ekvivalenta antalet standardaxlar som den aktuella vägsträckan antas belastas med inom en 20-årsperiod.
- Välj standardkonstruktion för aktuell undergrund.
- Beräkna antalet tillåtna standardaxlar.
- Tag fram formel 6 genom kapitel 5 i denna rapport. Detta ger moduler för alternativt material. Tag därefter fram moduler för AG22 enligt



standardmoduler i ATB-väg för aktuella temperaturer, och dessutom moduler för AG22 med hjälp av formel 7. Ålderskorrigera och laboratoriekorrigera vid behov.

- Beräkna antalet tillåtna standardaxlar för konstruktion med alternativt material.
- Optimera konstruktionen genom att variera de bitumenbundna lagertjocklekarna så att tillåtna antalet standardaxlar för konstruktion med alternativ beläggning är större än antalet ekvivalenta standardaxlar.

## 13 Slutsatser

Konstanten  $c$  i sambandet för beräkning av alternativa livslängder antogs först till att vara lika som motsvarande konstant som för AG22 det vill säga 2,28. Det visade sig att detta inte var möjligt. Vid liten förändring av denna varierade livslängderna inom stora spann. Vad som även inses är att denna parameter kräver ytterligare studier då den inte har fastställts i denna undersökning.

Vid känslighetsanalysen har styvhetsmodulen varierats med +/- 10 % för att se hur mycket det slår i livslängd. Som tidigare nämnts varierar ökningen respektive minskningen beroende på vilket  $c$  som används. Detta är ytterligare en faktor som ger osäkerheter vid livslängdsbestämning. Dimensioneringar med olika material, och deras inbördes bestämda konstanter  $c$ , skulle resultera i olika beteenden för varje material om en ökning av materialens moduler skulle ske. Vid denna analys av styvhetsmodulen anses beräkningsmodellen dock vara stabil då små variationer av styvhetsmodulen slår förhållandevis lite av den slutliga livslängden.

Från två utmattningsresultat från två olika provkroppar av AG22 har faktorn resulterat i 0,23 och 2,96. En faktor på 0,23 betyder en slutlig livslängd på ca 4,7 miljoner standardaxlar och faktor 2,96 ger en slutlig livslängd på ca 60 miljoner standardaxlar, då livslängden beräknad med PMS-objekt ger en livslängd av ca 20 miljoner standardaxlar för samma konstruktion. Eftersom samma koncept används vid livslängdsberäkningar för de alternativa materialen kan det antas att det möjligtvis inte ger rimliga livslängder för dessa material, trots att konstanten  $c$  inte är fastställd.

## 14 Diskussion

De slutsatser som dragits av denna undersökning baseras på ofullständiga indata. Bland annat har vid beräkning av alternativt materials livslängd (täljare i faktorberäkningen) använts styvhetsmodulfunktionen från ATB-väg vid sammanslagningen, då indata för de två AG22-materialen varit bristfälliga.

Ska det användas samma koncept som den föreslagna modellen beskriver skall det användas moduler från tre temperaturer testade på samma provkroppar. Dessa indata har inte varit tillgängliga. Istället har modulformeln använts som anges i ATB-väg. Då denna formel baseras på ett 100-tal provkroppar av just materialet AG22 har det antagits motsvara just en AG22 vid beräkningarna i denna rapport.

Vid dessa beräkningar som slutsatserna grundar sig på har även konstanten  $c$  antagits lika med den laborationsformel som finns angiven i ATB-väg för AG22. Detta är inte heller helt enligt modellen då  $c$  inte är fastställd och har därför antagits till 2,28 vid de beräkningarna. Resonemanget i slutsatserna grundar sig på att eftersom konstanten  $c = 2,28$  är anpassad för AG22 så har det antagits vara godtagbart att använda just 2,28 vid behandling av materialet AG22.

Enligt utmattningskurvor har likheter mellan AG22 och övriga material belysts. Denna teori anspelar på att konstanterna möjligtvis inte behöver ändras alls för de alternativa materialen. I det stora hela betyder då detta att konstanterna ses som osäkra i just detta rapportunderlag och kräver fortsatta studier.

## 15 Referenser

ATB-väg (2005) Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner.

Asfaltboken (1999) hämtad från <http://www.asfaltboken.nu/inside/frameset.asp> hämtat 15 september 2006 – 17 februari 2007.

FAS-Metod 454-98, Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige. *Bestämning av styvhetsmodulen hos asfaltbetong genom pulserande pressdragprov*. Hämtad från <http://www.vv.se/filer/Publikationer/fas454-98.pdf> hämtat september 2006 - 17 februari 2007.

Hunter, Robert (2000), *Asphalts in road construction*. Thomas Telford, London.

Nilsson, Richard (2005), Skanska Sverige AB hämtad från [http://www.asfaltskolan.se/metoddag\\_05/MET05pdf/Richard\\_Nilsson.pdf](http://www.asfaltskolan.se/metoddag_05/MET05pdf/Richard_Nilsson.pdf) hämtat 19 februari 2007.

Said, S & J Wahlström (1998), *Styvhets- och utmattningsegenskaper hos AG-beläggningar*. VTI (Statens Väg- och transportforskningsinstitut), Linköping.

Said, S, Hakim, H & T Jacobsson (2006), *Utvärdering av massabeläggning med mjukgjord bitumen, MJAB och MJAG Etapp II*. VTI (Statens Väg- och transportforskningsinstitut), Linköping

Ullitdtz, Per (1998), *Modelling flexible pavement response and performance*. Technical university of denmark, Danmark.

Ulmgren, N & K-J Aksell (2005), *Provväg E6 Geddeknippeln – Kallsås Polymermodificerade bindemedel*. NCC Roads Sverige FoU Asfalt.

Muntliga källor:

Enocksson, Carl-Gösta (2006-2007), specialiststöd inom områdena bärighet och beläggning, belagd väg tillståndsdata, beläggningsteknik, vägteknik. Vägverket region väst, Göteborg.

Elsander, Jesper (2006-2007), arbetsuppgift, dimensionering, vägteknik. Vägverkets huvudkontor, Borlänge.

Said, Safwat (2006-2007), forskningsledare inom väg- och banteknik, VTI Statens Väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.



## **Bilagor**

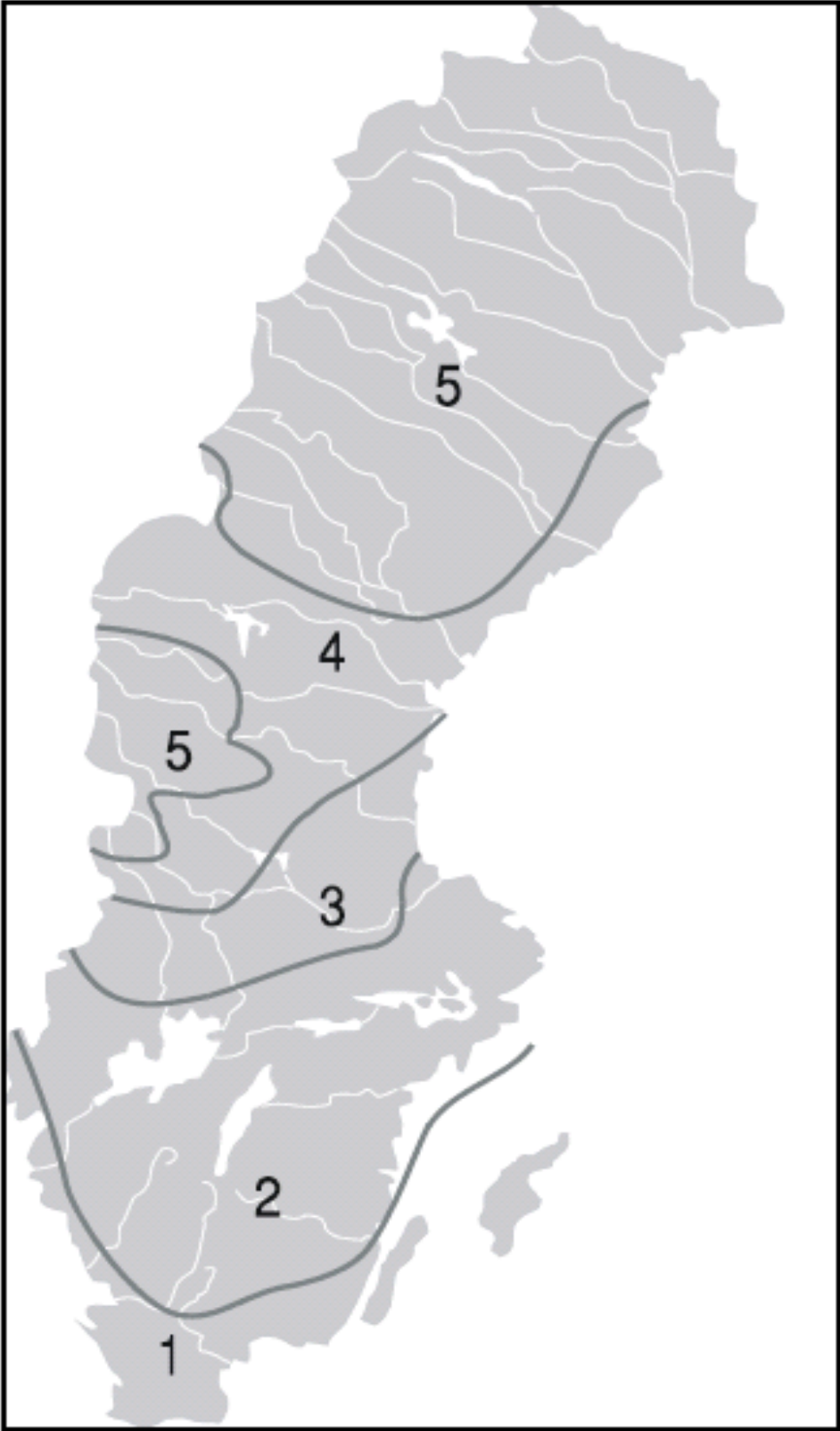
Bilaga 1. Klimatzoner

Bilaga 2. Beräkning av styvhetsmoduler

Bilaga 3. Sammanställning av beräkningar

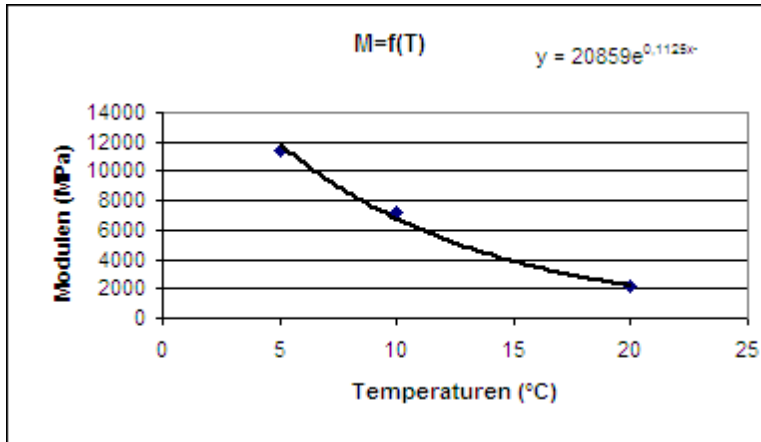
Bilaga 4. Utmattningsdiagram

Bilaga 1. Klimatzoner



## Bilaga 2. Beräkning av styvhetsmoduler

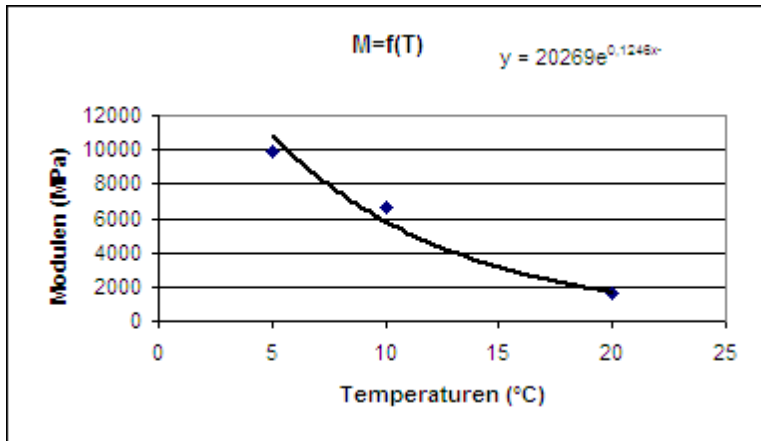
	T (°C)	Ms (MPa)
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	5	11 375
	10	7 230
	20	2 150



q 20859  
u -0,1125

T (°C)	Ms (MPa)	Mskorr (MPa)
-1,9	25 830	31 511
1	18 640	22 739
2,3	16 103	19 645
3	14 884	18 157
18,1	2 722	3 321
3,8	13 603	16 595

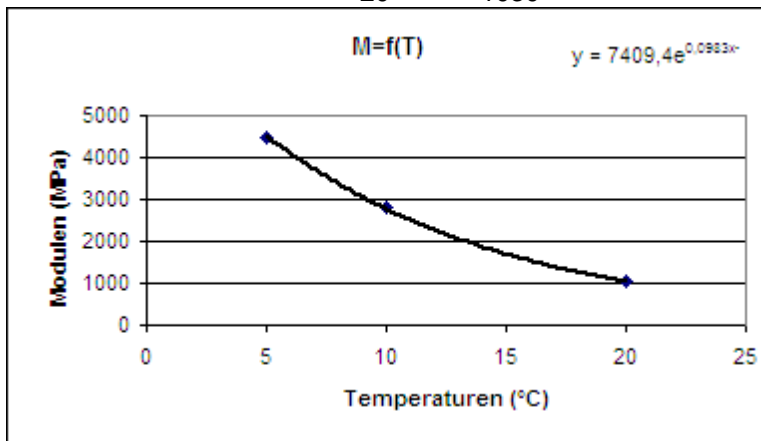
	T (°C)	Ms (MPa)
<b>50/70-53 SBS Poly</b>	5	9 950
	10	6 660
	20	1 605



q 20269  
u -0,1246

T (°C)	Ms (MPa)	Mskorr (MPa)
-1,9	25 683	31 332
1	17 894	21 830
2,3	15 219	18 566
3	13 947	17 015
18,1	2 125	2 593
3,8	12 624	15 401

	T (°C)	M (MPa)
<b>AG 100/150-75 Poly</b>	5	4470
	10	2830
	20	1030



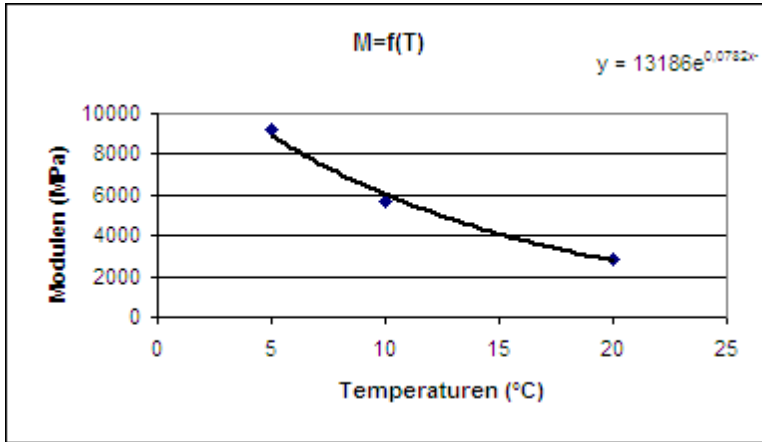
q 7409  
u -0,0983

T (°C)	Ms (MPa)	Mskorr (MPa)
-1,9	8 930	10 894
1	6 715	8 192
2,3	5 910	7 209
3	5 517	6 730
18,1	1 250	1 525
3,8	5 100	6 221



**AG 100/150**

T (°C)	M (Mpa)
5	9250
10	5710
20	2810

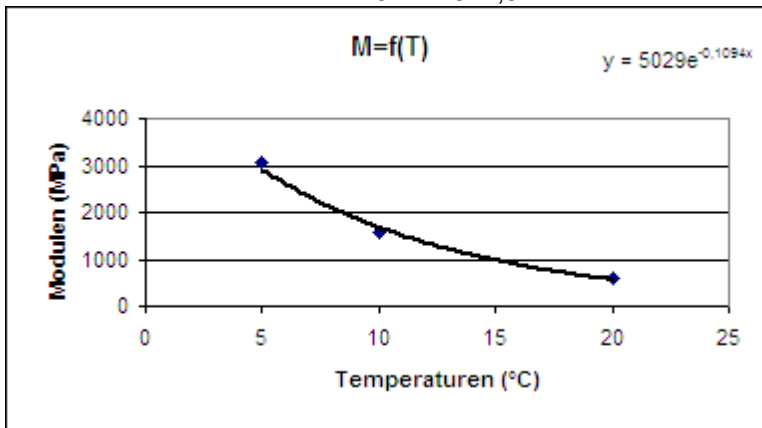


q 13186  
u -0,0782

T (°C)	Ms (MPa)	Mskorr (MPa)
-1,9	15 298	18 663
1	12 194	14 876
2,3	11 015	13 438
3	10 429	12 722
18,1	3 202	3 906
3,8	9 796	11 951

**MJAG**

T (°C)	M (Mpa)
5	3052,5
10	1567,5
20	577,5



q 5029  
u -0,1094

T (°C)	Ms (MPa)	Mskorr (MPa)
-5,1	8786	10718
6,5	2470	3013
18,1	694	847
3,8	3318	4048

## Bilaga 3. Sammanställning av beräkningar

c=1	Moduler [Mpa]							
50/70-53 EVA Poly	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf	Konstanter		Resultat		
Vinter	31 511	31,89	259 301 970					
Tjällossning vinter	22 739	46,61	56 787 050	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	5 351 946	
Tjällossning	19 645	57,00	24 721 035	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	18 157	56,40	28 175 030	a2	20,22	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	3 321	132,43	2 431 427	c	1	<b>Faktor</b>	6,08	
Höst	16 595	58,73	25 312 440	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	123 648 469	
<b>50/70-53 SBS Poly</b>								
Vinter	31 332	31,99	8 204 848					
Tjällossning vinter	21 830	47,76	2 351 092	K	4,3E+13	<b>Nalt, bel</b>	471 329	
Tjällossning	18 566	58,72	1 204 785	n=b	4,02	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	17 015	58,28	1 354 403	a2	17,46	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	2 593	144,51	230 897	c	1	<b>Faktor</b>	0,54	
Höst	15 401	60,99	1 246 649	M(T=10°C)	6 660	<b>Ntill, alt, bel</b>	10 889 325	
<b>AG 100/150-75 Poly</b>								
Vinter	10 894	54,56	55 174 922					
Tjällossning vinter	8 192	85,23	8 395 555	K	6,2E+11	<b>Nalt, bel</b>	3 235 327	
Tjällossning	7 209	95,53	5 478 144	n=b	2,81	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	6 730	91,66	7 173 462	a2	15,24	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	1 525	167,68	1 681 730	c	1	<b>Faktor</b>	3,67	
Höst	6 221	94,66	6 638 483	M(T=10°C)	2 830	<b>Ntill, alt, bel</b>	74 747 240	
<b>AG 100/150</b>								
Vinter	18 663	41,90	1 671 730					
Tjällossning vinter	14 876	59,98	637 479	K	1,5E+12	<b>Nalt, bel</b>	353 930	
Tjällossning	13 438	69,53	432 219	n=b	3,32	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	12 722	67,45	504 842	a2	15,88	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	3 906	124,50	214 921	c	1	<b>Faktor</b>	0,40	
Höst	11 950	69,26	492 195	M(T=10°C)	5 040	<b>Ntill, alt, bel</b>	8 177 013	
<b>AG22 160/220</b>								
Vinter	17 424	43,39	2 015 721					
Tjällossning vinter	14 430	61,08	766 372	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	444 471	
Tjällossning	13 262	70,01	525 793	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	12 672	67,59	619 787	a2	16,08	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	4 749	115,15	273 097	c	1	<b>Faktor</b>	0,50	
Höst	12 030	69,03	607 694	M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	10 268 824	
<b>MJAG k.z 4</b>								
Vinter	14 291	128,56	20 055	K	2,9E+09	<b>Nalt, bel</b>	17 810	
Tjällossning	4 017	323,06	10 208	n=b	2,11	<b>Nstd, bel</b>	40 497	
Sommar	1 129	267,60	54 034	a2	12,78	<b>Nkingham</b>	701 564	
Höst	5 398	244,67	13 659	c	1	<b>Faktor</b>	0,44	
				M(T=10°C)	1 568	<b>Ntill, alt, bel</b>	308529	
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>								
Vinter	21 453	99,79	99 116	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	35429	
Tjällossning	10 093	204,05	18 779	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	40 497	
Sommar	4 749	234,47	24 952	a2	16,08	<b>Nkingham</b>	701 564	
Höst	12 030	166,88	31 089	c	1	<b>Faktor</b>	0,87	
				M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	613748	

<b>c=2</b>	Moduler [Mpa]							
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf	Konstanter			<b>Resultat</b>	
Vinter	31 511	31,89	59 613 364					
Tjällossning vinter	22 739	46,61	18 091 640	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>		8 617 753
Tjällossning	19 645	57,00	9 116 216	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	18 157	56,40	11 241 397	a2	24,08	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	3 321	132,43	5 303 863	c	2	<b>Faktor</b>		9,79
Höst	16 595	58,73	11 049 859	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>		199 099 929
<b>50/70-53 SBS Poly</b>								
Vinter	31 332	31,99	1 730 145					
Tjällossning vinter	21 830	47,76	711 567	K	4,3E+13	<b>Nalt, bel</b>		647 980
Tjällossning	18 566	58,72	428 737	n=b	4,02	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	17 015	58,28	525 916	a2	21,28	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	2 593	144,51	588 322	c	2	<b>Faktor</b>		0,74
Höst	15 401	60,99	534 805	M(T=10°C)	6 660	<b>Ntill, alt, bel</b>		14 970 585
<b>AG 100/150-75 Poly</b>								
Vinter	10 894	54,56	36 690 562					
Tjällossning vinter	8 192	85,23	7 424 368	K	6,2E+11	<b>Nalt, bel</b>		9 105 906
Tjällossning	7 209	95,53	5 505 014	n=b	2,81	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	6 730	91,66	7 721 714	a2	18,70	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	1 525	167,68	7 988 892	c	2	<b>Faktor</b>		10,34
Höst	6 221	94,66	7 730 519	M(T=10°C)	2 830	<b>Ntill, alt, bel</b>		210 377 952
<b>AG 100/150</b>								
Vinter	18 663	41,90	448 936					
Tjällossning vinter	14 876	59,98	214 773	K	1,5E+12	<b>Nalt, bel</b>		257 866
Tjällossning	13 438	69,53	161 202	n=b	3,32	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	12 722	67,45	198 884	a2	19,58	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	3 906	124,50	275 770	c	2	<b>Faktor</b>		0,29
Höst	11 950	69,26	206 428	M(T=10°C)	5 040	<b>Ntill, alt, bel</b>		5 957 597
<b>AG22 160/220</b>								
Vinter	17 424	43,39	493 495					
Tjällossning vinter	14 430	61,08	226 555	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>		253 854
Tjällossning	13 262	70,01	169 124	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	12 672	67,59	208 640	a2	19,71	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	4 749	115,15	245 310	c	2	<b>Faktor</b>		0,29
Höst	12 030	69,03	215 486	M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>		5 864 915
<b>MJAG k.z 4</b>								
Vinter	14 291	128,56	3 911	K	2,9E+09	<b>Nalt, bel</b>		6 231
Tjällossning	4 017	323,06	7 081	n=b	2,11	<b>Nstd, bel</b>		40 497
Sommar	1 129	267,60	133 330	a2	16,10	<b>Nkingham</b>		701 564
Höst	5 398	244,67	7 052	c	2	<b>Faktor</b>		0,15
				M(T=10°C)	1 568	<b>Ntill, alt, bel</b>		107 937
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>								
Vinter	21 453	99,79	19 358	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>		13963
Tjällossning	10 093	204,05	7 796	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>		40 497
Sommar	4 749	234,47	22 015	a2	19,71	<b>Nkingham</b>		701 564
Höst	12 030	166,88	10 828	c	2	<b>Faktor</b>		0,34
				M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>		241879

<b>c=2,28</b>	Moduler [Mpa]						
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf	Konstanter	<b>Resultat</b>		
Vinter	31 511	31,89	39 476 098				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	13 126 289	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	8 925 570
Tjällossning	19 645	57,00	6 890 711	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	8 686 562	a2	25,16	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	6 594 730	c	2,28	<b>Faktor</b>	10,14
Höst	16 595	58,73	8 756 350	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	206 211 550
<b>50/70-53 SBS Poly</b>							
Vinter	31 332	31,99	1 119 968				
Tjällossning vinter	21 830	47,76	509 660	K	4,3E+13	<b>Nalt, bel</b>	603 741
Tjällossning	18 566	58,72	321 329	n=b	4,02	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	17 015	58,28	403 909	a2	22,35	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 593	144,51	765 157	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,69
Höst	15 401	60,99	422 359	M(T=10°C)	6 660	<b>Ntill, alt, bel</b>	13 948 514
<b>AG 100/150-75 Poly</b>							
Vinter	10 894	54,56	32 711 608				
Tjällossning vinter	8 192	85,23	7 169 193	K	6,2E+11	<b>Nalt, bel</b>	10 999 317
Tjällossning	7 209	95,53	5 509 516	n=b	2,81	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	6 730	91,66	7 878 246	a2	19,66	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	1 525	167,68	12 351 821	c	2,28	<b>Faktor</b>	12,49
Höst	6 221	94,66	8 062 836	M(T=10°C)	2 830	<b>Ntill, alt, bel</b>	254 122 277
<b>AG 100/150</b>							
Vinter	18 663	41,90	313 552				
Tjällossning vinter	14 876	59,98	159 839	K	1,5E+12	<b>Nalt, bel</b>	222 049
Tjällossning	13 438	69,53	123 434	n=b	3,32	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	12 722	67,45	154 641	a2	20,62	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 906	124,50	298 443	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,25
Höst	11 950	69,26	163 345	M(T=10°C)	5 040	<b>Ntill, alt, bel</b>	5 130 100
<b>AG22 160/220</b>							
Vinter	17 424	43,39	327 915				
Tjällossning vinter	14 430	61,08	158 701	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	203 654
Tjällossning	13 262	70,01	121 304	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	12 672	67,59	151 566	a2	20,72	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	4 749	115,15	234 567	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,23
Höst	12 030	69,03	158 835	M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	4 705 120
<b>MJAG k.z 4</b>							
Vinter	14 291	128,56	2 474	K	2,9E+09	<b>Nalt, bel</b>	4 346
Tjällossning	4 017	323,06	6 392	n=b	2,11	<b>Nstd, bel</b>	40 497
Sommar	1 129	267,60	171 696	a2	17,03	<b>Nkingham</b>	701 564
Höst	5 398	244,67	5 860	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,11
				M(T=10°C)	1 568	<b>Ntill, alt, bel</b>	75 287
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>							
Vinter	21 453	99,79	12 254	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	10315
Tjällossning	10 093	204,05	6 095	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	40 497
Sommar	4 749	234,47	21 256	a2	20,72	<b>Nkingham</b>	701 564
Höst	12 030	166,88	8 059	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,25
				M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	178699

<b>c=3,5</b>	Moduler [Mpa]							
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf	Konstanter			<b>Resultat</b>	
Vinter	31 511	31,89	6 571 286					
Tjällossning vinter	22 739	46,61	3 253 276	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	5 326 282	
Tjällossning	19 645	57,00	2 041 440	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	18 157	56,40	2 833 049	a2	29,87	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	3 321	132,43	17 087 911	c	3,5	<b>Faktor</b>	6,05	
Höst	16 595	58,73	3 187 065	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	123 055 543	
<b>50/70-53 SBS Poly</b>								
Vinter	31 332	31,99	171 435					
Tjällossning vinter	21 830	47,76	121 237	K	4,3E+13	<b>Nalt, bel</b>	234 892	
Tjällossning	18 566	58,72	93 135	n=b	4,02	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	17 015	58,28	130 217	a2	27,02	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	2 593	144,51	2 448 565	c	3,5	<b>Faktor</b>	0,27	
Höst	15 401	60,99	153 770	M(T=10°C)	6 660	<b>Ntill, alt, bel</b>	5 426 827	
<b>AG 100/150-75 Poly</b>								
Vinter	10 894	54,56	19 896 345					
Tjällossning vinter	8 192	85,23	6 174 113	K	6,2E+11	<b>Nalt, bel</b>	16 119 709	
Tjällossning	7 209	95,53	5 545 566	n=b	2,81	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	6 730	91,66	8 623 650	a2	23,87	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	1 525	167,68	82 714 523	c	3,5	<b>Faktor</b>	18,31	
Höst	6 221	94,66	9 714 453	M(T=10°C)	2 830	<b>Ntill, alt, bel</b>	372 421 058	
<b>AG 100/150</b>								
Vinter	18 663	41,90	62 476					
Tjällossning vinter	14 876	59,98	42 000	K	1,5E+12	<b>Nalt, bel</b>	82 858	
Tjällossning	13 438	69,53	36 717	n=b	3,32	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	12 722	67,45	49 178	a2	25,13	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	3 906	124,50	400 819	c	3,5	<b>Faktor</b>	0,09	
Höst	11 950	69,26	56 068	M(T=10°C)	5 040	<b>Ntill, alt, bel</b>	1 914 315	
<b>AG22 160/220</b>								
Vinter	17 424	43,39	57 751					
Tjällossning vinter	14 430	61,08	35 178	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	65 436	
Tjällossning	13 262	70,01	29 805	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	880 456	
Senvår	12 672	67,59	39 367	a2	25,14	<b>Nkingham</b>	20 341 588	
Sommar	4 749	115,15	201 749	c	3,5	<b>Faktor</b>	0,07	
Höst	12 030	69,03	43 956	M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	1 511 791	
<b>MJAG k.z 4</b>								
Vinter	14 291	128,56	337	K	2,9E+09	<b>Nalt, bel</b>	741	
Tjällossning	4 017	323,06	4 091	n=b	2,11	<b>Nstd, bel</b>	40 497	
Sommar	1 129	267,60	516 799	a2	21,08	<b>Nkingham</b>	701 564	
Höst	5 398	244,67	2 616	c	3,5	<b>Faktor</b>	0,02	
				M(T=10°C)	1 568	<b>Ntill, alt, bel</b>	12 838	
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>								
Vinter	21 453	99,79	1 671	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>	2310	
Tjällossning	10 093	204,05	2 085	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>	40 497	
Sommar	4 749	234,47	18 244	a2	25,14	<b>Nkingham</b>	701 564	
Höst	12 030	166,88	2 226	c	3,5	<b>Faktor</b>	0,06	
				M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>	40022	

<b>c=4,5</b>	Moduler [Mpa]							
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf	Konstanter			<b>Resultat</b>	
Vinter	31 511	31,89	1 510 735					
Tjällossning vinter	22 739	46,61	1 036 453	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>		2 076 426
Tjällossning	19 645	57,00	752 809	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	18 157	56,40	1 130 342	a2	33,73	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	3 321	132,43	37 275 209	c	4,5	<b>Faktor</b>		2,36
Höst	16 595	58,73	1 391 277	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>		47 972 634
<b>50/70-53 SBS Poly</b>								
Vinter	31 332	31,99	36 150					
Tjällossning vinter	21 830	47,76	36 693	K	4,3E+13	<b>Nalt, bel</b>		74 579
Tjällossning	18 566	58,72	33 143	n=b	4,02	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	17 015	58,28	50 563	a2	30,84	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	2 593	144,51	6 238 916	c	4,5	<b>Faktor</b>		0,08
Höst	15 401	60,99	65 966	M(T=10°C)	6 660	<b>Ntill, alt, bel</b>		1 723 036
<b>AG 100/150-75 Poly</b>								
Vinter	10 894	54,56	13 230 795					
Tjällossning vinter	8 192	85,23	5 459 899	K	6,2E+11	<b>Nalt, bel</b>		16 467 902
Tjällossning	7 209	95,53	5 572 767	n=b	2,81	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	6 730	91,66	9 282 737	a2	27,33	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	1 525	167,68	392 927 050	c	4,5	<b>Faktor</b>		18,70
Höst	6 221	94,66	11 312 489	M(T=10°C)	2 830	<b>Ntill, alt, bel</b>		380 465 535
<b>AG 100/150</b>								
Vinter	18 663	41,90	17 168					
Tjällossning vinter	14 876	59,98	14 480	K	1,5E+12	<b>Nalt, bel</b>		31 016
Tjällossning	13 438	69,53	14 013	n=b	3,32	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	12 722	67,45	19 825	a2	28,84	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	3 906	124,50	526 279	c	4,5	<b>Faktor</b>		0,04
Höst	11 950	69,26	24 063	M(T=10°C)	5 040	<b>Ntill, alt, bel</b>		716 568
<b>AG22 160/220</b>								
Vinter	17 424	43,39	13 817					
Tjällossning vinter	14 430	61,08	10 163	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>		21 352
Tjällossning	13 262	70,01	9 369	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>		880 456
Senvår	12 672	67,59	12 950	a2	28,76	<b>Nkingham</b>		20 341 588
Sommar	4 749	115,15	177 096	c	4,5	<b>Faktor</b>		0,02
Höst	12 030	69,03	15 232	M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>		493 301
<b>MJAG k.z 4</b>								
Vinter	14 291	128,56	66	K	2,90E+09	<b>Nalt, bel</b>		154
Tjällossning	4 017	323,06	2 838	n=b	2,11	<b>Nstd, bel</b>		40 497
Sommar	1 129	267,60	1 275 218	a2	24,40	<b>Nkingham</b>		701 564
Höst	5 398	244,67	1 351	c	4,5	<b>Faktor</b>		0,004
				M(T=10°C)	1567,5	<b>Ntill, alt, bel</b>		2659,7
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>								
Vinter	21 453	99,79	326	K	2,9E+12	<b>Nalt, bel</b>		574
Tjällossning	10 093	204,05	866	n=b	3,38	<b>Nstd, bel</b>		40 497
Sommar	4 749	234,47	16 097	a2	28,76	<b>Nkingham</b>		701 564
Höst	12 030	166,88	775	c	4,5	<b>Faktor</b>		0,01
				M(T=10°C)	4 190	<b>Ntill, alt, bel</b>		9942

### Sammanställning av beräkningar med enbart modulen som variabel

Standard konst	Moduler [Mpa]		Nf	konstanter	Resultat	
<b>50/70-53 EVA Poly</b>	Bundet bärlager	Max microstrain				
Vinter	31 511	31,89	1 190 219			
Tjällossning vinter	22 739	46,61	655 701		<b>Nalt, bel</b>	865 306
Tjällossning	19 645	57,00	449 835	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	559 056	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 320 941	c	2,28 <b>Faktor</b>	0,98
Höst	16 595	58,73	594 778		<b>Ntill, alt, bel</b>	19 991 575
<b>50/70-53 SBS Poly</b>						
Vinter	31 332	31,99	1 192 989			
Tjällossning vinter	21 830	47,76	660 697		<b>Nalt, bel</b>	940 189
Tjällossning	18 566	58,72	460 932	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	17 015	58,28	577 287	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 593	144,51	1 706 473	c	2,28 <b>Faktor</b>	1,07
Höst	15 401	60,99	617 240		<b>Ntill, alt, bel</b>	21 721 616
<b>AG 100/150-75 Poly</b>						
Vinter	10 894	54,56	2 014 405			
Tjällossning vinter	8 192	85,23	799 035		<b>Nalt, bel</b>	1 588 029
Tjällossning	7 209	95,53	714 731	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	6 730	91,66	967 355	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	1 525	167,68	3 386 333	c	2,28 <b>Faktor</b>	1,80
Höst	6 221	94,66	1 033 243		<b>Ntill, alt, bel</b>	36 688 966
<b>AG 100/150</b>						
Vinter	18 663	41,90	1 498 437			
Tjällossning vinter	14 876	59,98	708 431		<b>Nalt, bel</b>	932 498
Tjällossning	13 438	69,53	530 375	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	12 722	67,45	668 705	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 906	124,50	1 134 682	c	2,28 <b>Faktor</b>	1,06
Höst	11 950	69,26	702 424		<b>Ntill, alt, bel</b>	21 543 934
<b>AG22 160/220</b>						
Vinter	17 424	43,39	1 549 354			
Tjällossning vinter	14 430	61,08	463 453		<b>Nalt, bel</b>	864 730
Tjällossning	13 262	70,01	533 463	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	12 672	67,59	670 073	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	4 749	115,15	957 362	c	2,28 <b>Faktor</b>	0,98
Höst	12 030	69,03	699 979		<b>Ntill, alt, bel</b>	19 978 261
<b>MJAG k.z 4</b>						
Vinter	14 291	128,56	66		<b>Nalt, bel</b>	115 147
Tjällossning	4 017	323,06	2 838	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	40 497
Sommar	1 129	267,60	1 275 218	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	701 564
Höst	5 398	244,67	1 351	c	2,28 <b>Faktor</b>	2,84
					<b>Ntill, alt, bel</b>	1 994 739
<b>AG22 160/220 k.z 4</b>						
Vinter	21 453	99,79	50 975		<b>Nalt, bel</b>	40202
Tjällossning	10 093	204,05	22 775	n=b	3,53 <b>Nstd, bel</b>	40 497
Sommar	4 749	234,47	77 790	a2	21,64 <b>Nkingham</b>	701 564
Höst	12 030	166,88	31 038	c	2,28 <b>Faktor</b>	0,99
					<b>Ntill, alt, bel</b>	696440

**50/70-53 EVA Poly****Reultat av beräkningar då styvhetmodulen har ökat med 10%**

	Moduler [Mpa]		Nf	konstanter	Resultat		
	Bundet bärlager	Max microstrain					
<b>c=1</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 192 989				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	5 820 345
Tjällossning	19 645	57,00	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	577 287	a2	20,22	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 706 473	c	1	<b>Faktor</b>	6,61
Höst	16 595	58,73	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	134 470 103
<b>c=2</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 192 989				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	8 652 894
Tjällossning	19 645	57,00	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	577 287	a2	24,08	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 706 473	c	2	<b>Faktor</b>	9,83
Höst	16 595	58,73	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	199 911 799
<b>c=2,28</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 192 989				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	8 791 225
Tjällossning	19 645	57,00	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	577 287	a2	25,16	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 706 473	c	2,28	<b>Faktor</b>	9,98
Höst	16 595	58,73	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	203 107 724
<b>c=3,5</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 192 989				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	4 812 329
Tjällossning	19 645	57,00	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	577 287	a2	29,87	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 706 473	c	3,5	<b>Faktor</b>	5,47
Höst	16 595	58,73	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	111 181 454
<b>c=4,5</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 192 989				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	1 720 241
Tjällossning	19 645	57,00	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	577 287	a2	33,73	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 706 473	c	4,5	<b>Faktor</b>	1,95
Höst	16 595	58,73	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	39 743 524
<b>AG22 konstanter</b>							
Vinter	31 511	31,89	1 145 380				
Tjällossning vinter	22 739	46,61	644 057			<b>Nalt, bel</b>	818 354
Tjällossning	19 645	57,00	431 698	n=b	3,53	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	18 157	56,40	533 508	a2	21,64	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	3 321	132,43	1 206 532	c	2,28	<b>Faktor</b>	0,93
Höst	16 595	58,73	567 547			<b>Ntill, alt, bel</b>	18 906 814



## 50/70-53 EVA Poly

### Resultat av beräkningar då styvhetmodulen har minskats med 10%

	Moduler [Mpa]		Nf	konstanter	Resultat		
	Bundet bärlager	Max microstrain					
<b>c=1</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 192 989				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	4 906 761
Tjälossning	17 680	60,24	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	577 287	a2	20,22	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 706 473	c	1	<b>Faktor</b>	5,57
Höst	14 935	61,94	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	113 363 166
<b>c=2</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 192 989				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	8 609 952
Tjälossning	17 680	60,24	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	577 287	a2	24,08	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 706 473	c	2	<b>Faktor</b>	9,78
Höst	14 935	61,94	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	198 919 687
<b>c=2,28</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 192 989				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	9 101 229
Tjälossning	17 680	60,24	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	577 287	a2	25,16	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 706 473	c	2,28	<b>Faktor</b>	10,34
Höst	14 935	61,94	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	210 269 889
<b>c=3,5</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 192 989				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	5 963 010
Tjälossning	17 680	60,24	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	577 287	a2	29,87	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 706 473	c	3,5	<b>Faktor</b>	6,77
Höst	14 935	61,94	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	137 766 178
<b>c=4,5</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 192 989				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	660 697	K	2,3E+16	<b>Nalt, bel</b>	2 558 335
Tjälossning	17 680	60,24	460 932	n=b	4,86	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	577 287	a2	33,73	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 706 473	c	4,5	<b>Faktor</b>	2,91
Höst	14 935	61,94	617 240	M(T=10°C)	7 230	<b>Ntill, alt, bel</b>	59 106 395
<b>AG22 konstanter</b>							
Vinter	28 360	33,72	1 243 191				
Tjälossning vinter	20 465	49,62	668 620			<b>Nalt, bel</b>	921 360
Tjälossning	17 680	60,24	470 761	n=b	3,53	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	16 342	59,48	588 973	a2	21,64	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	2 989	137,60	1 467 262	c	2,28	<b>Faktor</b>	1,05
Höst	14 935	61,94	626 793			<b>Ntill, alt, bel</b>	21 286 607

**AG22 d100 med Ms=15400e<sup>^</sup>(-0,065T)**

	Moduler [Mpa]				konstanter		Resultat
	Bundet bärlager	Max microstrain	Nf				
<b>c=2,28</b>							
Vinter	17 424	43,39	5 143 156				
Tjällossning vinter	14 430	61,08	2 215 964	K	3,70E+13	<b>Nalt, bel</b>	2 602 473
Tjällossning	13 262	70,01	1 617 011	n=b	3,72	<b>Nstd, bel</b>	880 456
Senvår	12 672	67,59	2 044 725	a2	20,62	<b>Nkingham</b>	20 341 588
Sommar	4 749	115,15	2 640 103	c	2,28	<b>Faktor</b>	2,96
Höst	12 030	69,03	2 127 393	M(T=10°C)	8040	<b>Ntill, alt, bel</b>	60 126 124

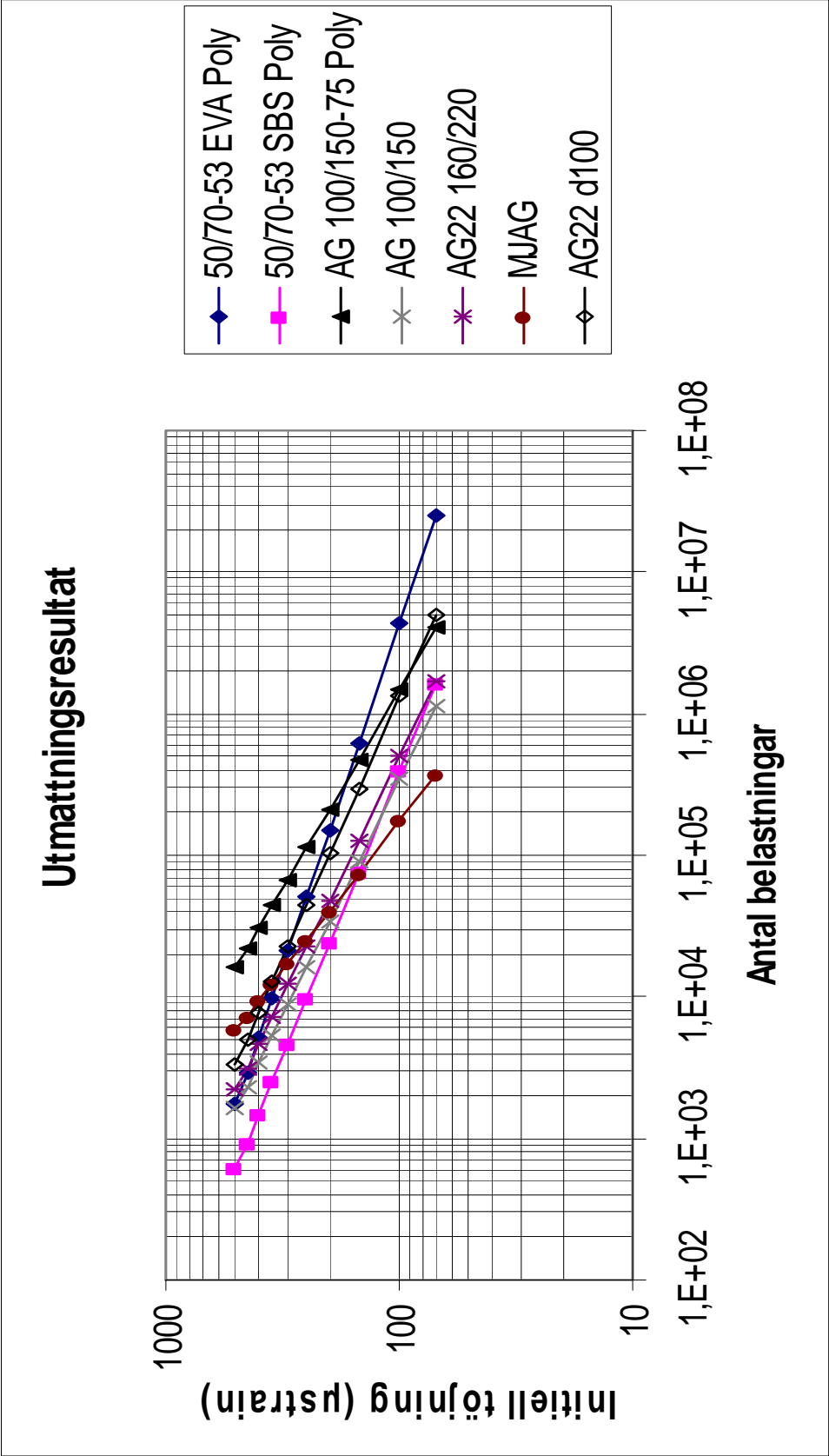
**Moduler övriga lager för respektive klimatperiod - Provvägen**

	Slitlager	Bindlager	Obun bärlager	Förs lager	Skyddslager	Undergrund
Vinter	17 424	17 424	1 000	450	1 000	1 000
Tjällossning vinter	14 430	14 430	150	450	1 000	1 000
Tjällossning	13 262	13 262	300	450	70	30
Senvår	12 672	12 672	450	450	85	40
Sommar	4 749	4 749	450	450	100	50
Höst	12 030	12 030	450	450	100	50

**Moduler övriga lager för respektive klimatperiod - MJAG**

	Slitlager	Bärlager	Obun bärlager	Förs lager	Skyddslager	Undergrund
Vinter	10718	10718	1000	450	1000	1000
Tjällossning	3013	3013	300	450	70	35
Sommar	847	847	450	450	100	100
Höst	4048	4048	450	450	100	100

Bilaga 4. Utmattningskurvor



Indata till utmattningskurvor, K och n, från NCC/VTI

	<b>50/70-53 EVA Poly</b>	<b>50/70-53 SBS Poly</b>	<b>AG 100/150-75 Poly</b>	<b>AG 100/150</b>
<b>K</b>	2,30E+16	4,30E+13	6,20E+11	1,50E+12
<b>n</b>	4,86	4,02	2,81	3,32
Initiell Töjning ( $\mu$ strain)	Livslängden N			
70	24 805 693	1 645 032	4 051 970	1 122 964
100	4 382 560	392 165	1 487 276	343 630
150	610 836	76 839	475 965	89 427
200	150 911	24 173	212 079	34 409
250	51 020	9 857	113 287	16 403
300	21 034	4 736	67 870	8 955
350	9 944	2 549	44 011	5 368
400	5 197	1 490	30 241	3 445
450	2 932	928	21 720	2 330
500	1 757	608	16 154	1 643

	<b>AG22 160/220</b>	<b>MJAG</b>	<b>AG22 d100</b>
<b>K</b>	2,90E+12	2,90E+09	3,7E+13
<b>n</b>	3,38	2,11	3,72
Initiell Töjning ( $\mu$ strain)	Livslängden N		
70	1 682 545	370 887	5 063 339
100	503 962	174 742	1 343 389
150	128 000	74 275	297 264
200	48 408	40 479	101 946
250	22 770	25 278	44 449
300	12 295	17 206	22 559
350	7 302	12 428	12 714
400	4 650	9 377	7 736
450	3 123	7 313	4 992
500	2 187	5 856	3 373