
TEKNISK RAPPORT

PROJECT NO. 41007451

**LAPINUS
INSTALLATION OG AFVIKLING AF BELÆGNINGSDIMENSIONERING
MED ROCKFLOW DATABASEN I MMOPP PROGRAMMET**



2024-04-02

SWECO DANMARK A/S

CHRISTIAN BUSCH

1	Teoretisk baggrund	1
2	Installation af Rockflow MMOPP databasen	2
3	Rockflow dimensioneringseksempler	3
3.1	T4 belægning på Em = 40 MPa, 20 års levetid	3
3.2	Ændring til Langsom trafik, 30 MPa underbund	5
4	Litteratur	10

Oversigt

Dette notat giver kortfattet teoretisk baggrund for hvorledes Rockflow kan anvendes ved dimensionering af vejbefæstelser med Vejdirektoratets MMOPP program.

Da der dimensioneres ved hjælp af et VD udviklet program, kan der ikke i datasættet anvendes produktspecifikke betegnelser, som det også fremgår ved at f.eks. Densiphalt og Confalt i VD's database betegnes som "semi-fleksibel". For Rockflow indbygget under befæstelsens bundsikringslag anvendes i det følgende den generiske betegnelse "StenuldsUB".

Databasen er i øvrigt opdateret, således at asfaltmaterialer er ændret til de nye, E-modul baserede betegnelser, der overholder anvisningerne i byggevareforordningen. Samtidig er visse asfalttyper fjernet, så databasen svarer til den gældende vejregel fra januar 2022.

Der gives i notatet anvisninger på, hvordan en "standard" MMOPP installation kopieres og modificeres til at kunne udføre dimensioneringsberegninger for befæstelser med et 500 mm Rockflow (StenuldsUB) lag.

Endelig vises fremgangsmåden for dimensionering ved to eksempler, illustreret udførligt med tekst og skærbilleder.

1 Teoretisk baggrund

Implementeringen af Rockflow som et gyldigt konstruktionsmateriale i MMOPP programmet er baseret på instrumenterede markforsøg hvor et 500 mm Rockflow lag i en forsøgsbefæstelse blev udsat for realistiske belastningspåvirkninger. Forsøgene og de efterfølgende analyser er beskrevet i to rapporter, ref.1 og ref. 7.

I analyserne blev de målte spændinger sammenlignet med beregnede værdier fra forskellige belægningsprogrammer for at udlede Rockflow lagets belægningsmæssige egenskaber. Ud fra disse blev der med MMOPP programmets simuleringsværktøj fremskrevet forventede nedbrydningsforløb for befæstelser med indbyggede Rockflow lag. På dette grundlag, og ud fra empiriske data fra eksisterende befæstelser med Rockflow i Danmark og Holland blev der opstillet nedenstående mekanistisk-empiriske MMOPP dimensioneringskriterie for Rockflow:

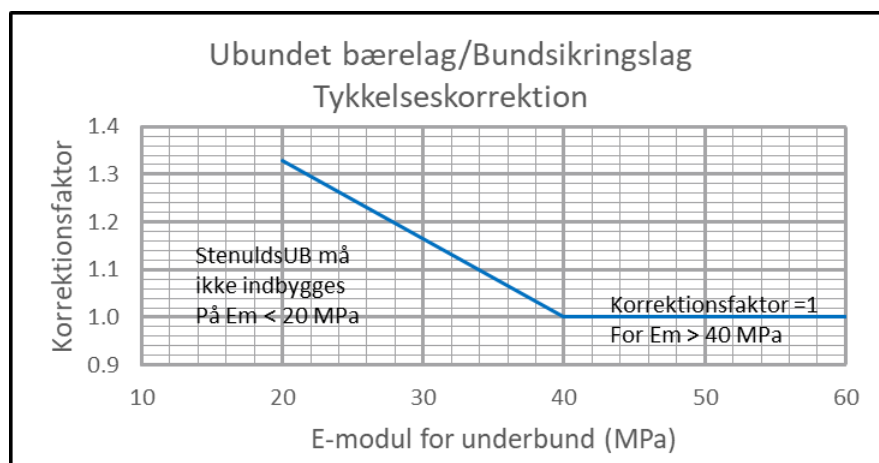
$$\sigma_{TILLADELIG} = 0.0128 \text{ MPa} \times (N_{\text{Æ10}}/10^6)^{-0.365}$$

Dimensioneringskriteriet gælder for et 500 mm Rockflow lag på en minimum 40 MPa underbund, og fastlægger den tilladelige lodrette spænding fra en Æ10 aksel på oversiden af laget som funktion af antallet af Æ10 akselpassager i dimensioneringsperioden.

I MMOPP programmet erstatter Rockflow laget – med en forudsat E-modul på 20 MPa – den virkelige underbund, der som nævnt skal have en overflademodul på minimum 40 MPa. Med MMOPP kan der så på sædvanlig vis dimensioneres fleksible og halvstive befæstelser med ubundne bærelag og bundsikringslag oven på Rockflow "underbunden".

Ved lavere bæreevne for den virkelige underbund end 40 MPa vil spændingerne overført via Rockflow laget forårsage større deformationer end ved $E_m = 40 \text{ MPa}$. I "normal" dimensionering ville man så blot øge tykkelsen af Rockflow laget, men da dette er fastholdt på 500 mm, må øget bæreevne tilføres ved at øge tykkelsen af de ubundne lag over Rockflow laget. De nødvendige tykkelseskorrektioner sker ved multiplikation med en faktor, der kan aflæses af nedenstående Figur 1.

Den virkelige underbund må ikke have en lavere bæreevne end 20 MPa, bl.a. fordi det vurderes at være et "for blødt" fundament for opbygning af Rockflow laget.



Figur 1 Tykkelseskorrektion ved bæreevne af underbund forskellig fra 40 MPa

2 Installation af Rockflow MMOPP databasen

I denne vejledning forudsættes, at brugeren har en fungerende installation af MMOPP, og at denne som angivet i installationsvejledningen er placeret i biblioteket:

C:\Users\Public\MMOPP\BASIS2017\

Det anbefales, at brugeren tager en kopi af hele BASIS2017 biblioteket og placerer det "parallelt" under "C:\Users\Public\MMOPP" med et nyt navn: "ROCKFLOW".

Brugeren bevarer derved den originale MMOPP installation intakt, og har så til installation af Rockflow MMOPP databasen biblioteket:

C:\Users\Public\MMOPP\ROCKFLOW\

I dette bibliotek omdøbes filen Mmopp.ini nu til Mmopp.bak (for "backup"). Herefter downloades fra <https://rain.rockwool.com/dk/downloads/trafiklast-en-mmopp/> filen "mmoppROCKFLOWdatabase24a.zip", der indeholder databasen, "StenuldsUB24a.mdb" ("24" pga. årstallet, "a" fordi eventuelle opdateringer vil blive benævnt "b", "c" osv.) og den tilhørende nye MMOPP styrefil Mmopp.ini.

Disse to filer kopieres ind i ROCKFLOW biblioteket.

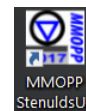
Mmopp.ini filen indeholder følgende tre linier

```
Language=dansk
StenuldsUB24a.mdb
C:\Users\Public\MMOPP\ROCKFLOW\
```

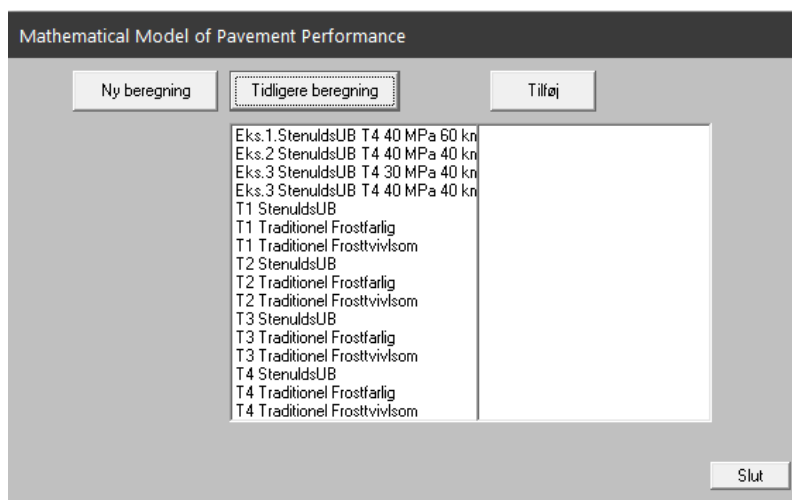
Hvis brugerens aktuelle sti til ROCKFLOW biblioteket ikke er C:\Users\Public\, må tredje linje i Mmopp.ini filen ændres, så den svarer til de faktiske forhold.

Lav til slut en genvej til MMOPP2017.exe filen i ROCKFLOW biblioteket. Den vil få navnet MMOPP2017.exe – Shortcut. Omdøb den til MMOPP StenuldsUB og placér den på skrivebordet – eller hvor du ellers har din genvej til den "almindelige" MMOPP dimensionering. Du bør nu have en ikon på skrivebordet, der ser sådan ud:

Dobbeltklik på den – det starter MMOPP i ROCKFLOW biblioteket, og klik på "Tidligere beregning". Du skulle da have nedenstående skærmbillede, der viser, at du har fat i den rigtige database, StenuldsUB24a.mdb.



Installationen er hermed afsluttet.



2 (10) *Figur 2 Verifikation af installation*

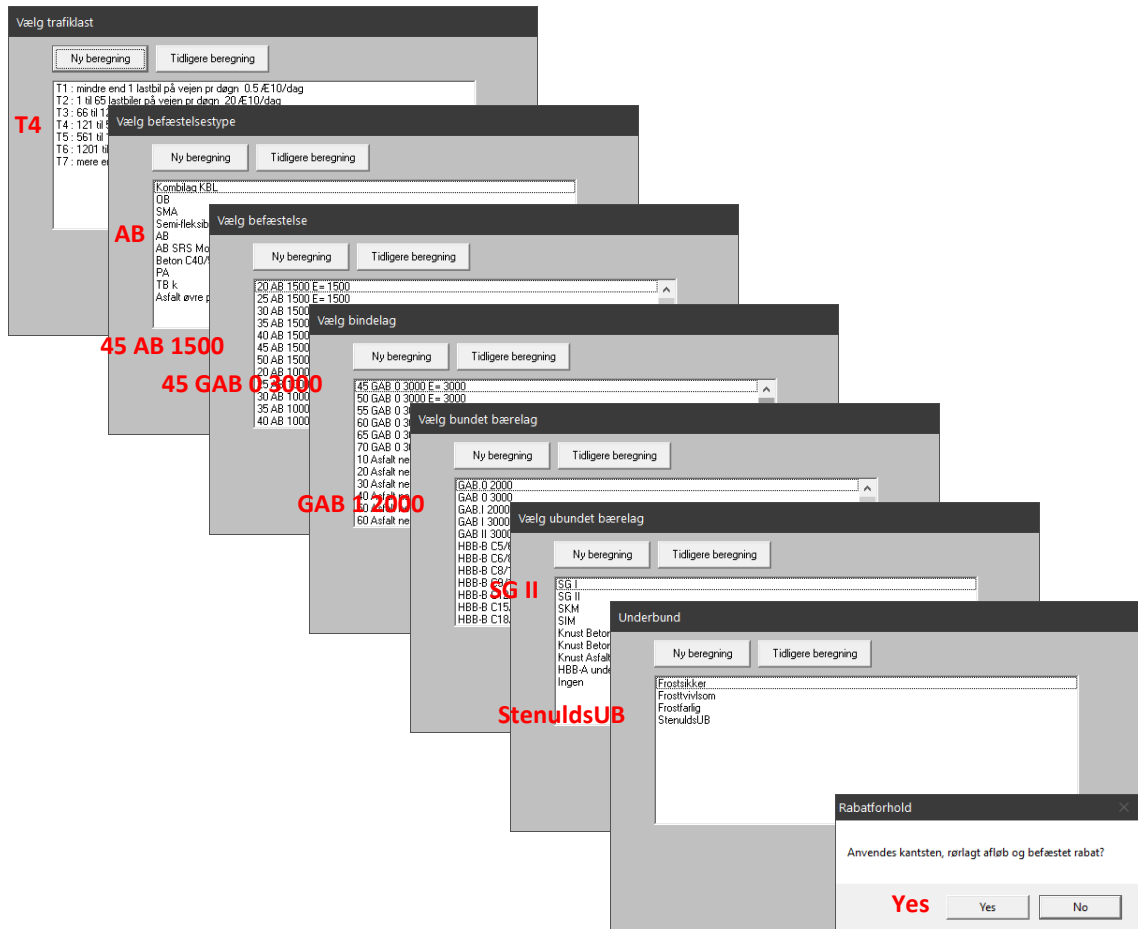
3 Rockflow dimensioneringseksempler

3.1 T4 belægning på Em = 40 MPa, 20 års levetid

Der ønskes dimensioneret en befæstelse for en vej med 50.000 Æ10 aksler pr. år. Dimensioneringsperioden skal være 15 år. Underbund forudsættes at have en dimensioneringsmæssig bundmodul på 40 MPa.

Trafikmængden fastlægger belægningstypen som T4, 18.300 – 73.000 Æ10/år.

Dimensioneringen er illustreret i nedenstående skærbilleder, med de enkelte materialevalg etc. angivet med rødt.



Input parametre

Ny beregning

Materiale	Nyt lag	Tykkelse	E-værdi
45 AB 1500	45 GAB 0 3000 GAB.I 2000	158	2438
SG II		140	300
Bundsikring II U<=3		370	100
StenuldsUB			20

Navn: xxx

Hjul: 1

Antal pr. år: 73000

Vækst, %: 0

Min hastighed: 60 Max hastighed: 80

År i dimensionering: 10

Buttons: Gem, Slut, Analytisk, Levetid, år, Standard E, Analytisk (selected), Simulation, Data.xls, Lag

Figur 4 Resulterende befæstelse efter standard dimensionering. Rødt felt angiver at lagtykkelsen for indbygning i ét lag er overskredet

Input parametre

Ny beregning

Materiale	Nyt lag	Tykkelse	E-værdi
45 AB 1500	45 GAB 0 3000 GAB.I 2000	163	2454
SG II		160	300
Bundsikring II U<=3		390	100
StenuldsUB			20

Navn: Eks1.StenuldsUB T4 40 MPa 60 km/h

Hjul: 1

Antal pr. år: 50000

Vækst, %: 0

Min hastighed: 60 Max hastighed: 80

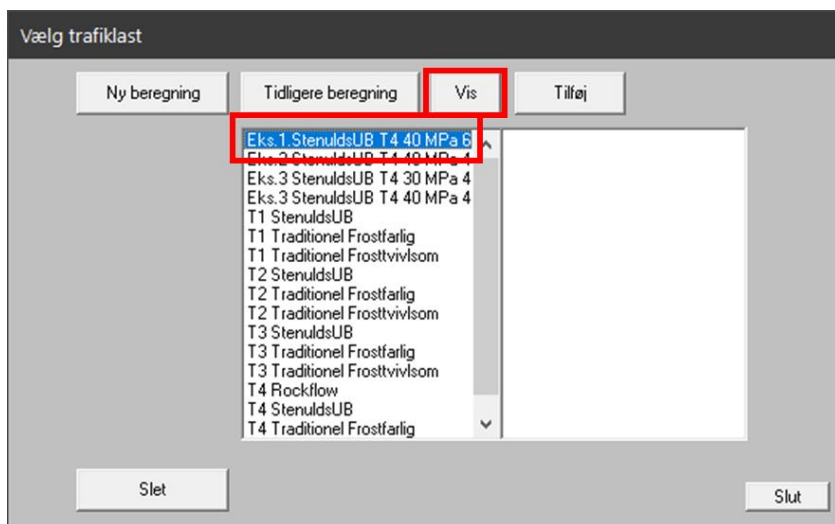
År i dimensionering: 20

Buttons: Gem, Slut, Analytisk, Levetid, år, Standard E, Analytisk (selected), Simulation, Data.xls, Lag

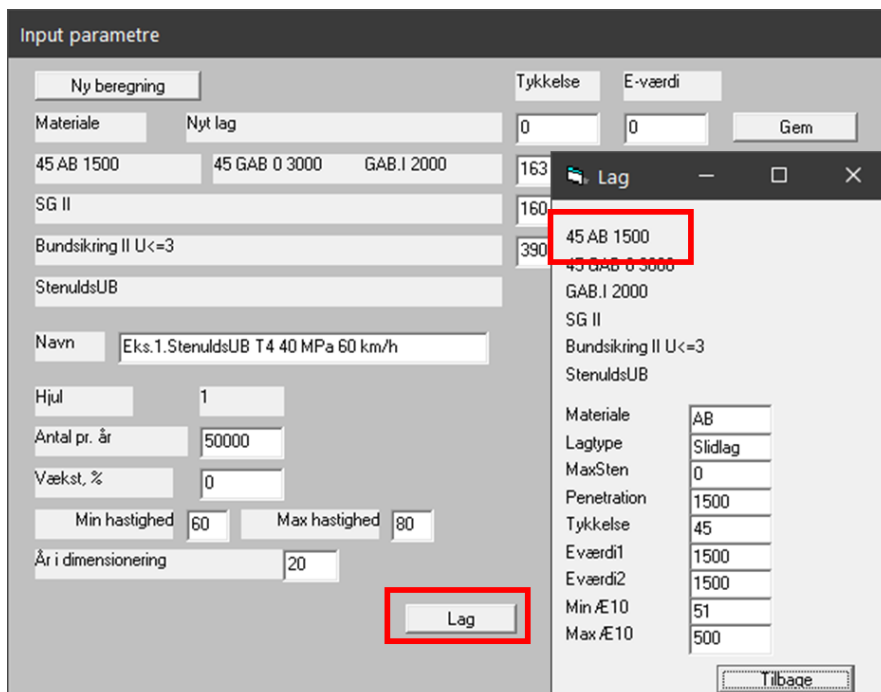
Figur 5 Ændring af navn, Æ10/år og År i dimensionering. Tryk "Analytisk" og "Gem". Den resulterende befæstelse skal svare til databasens første eksempel.

3.2 Ændring til Langsom trafik, 30 MPa underbund

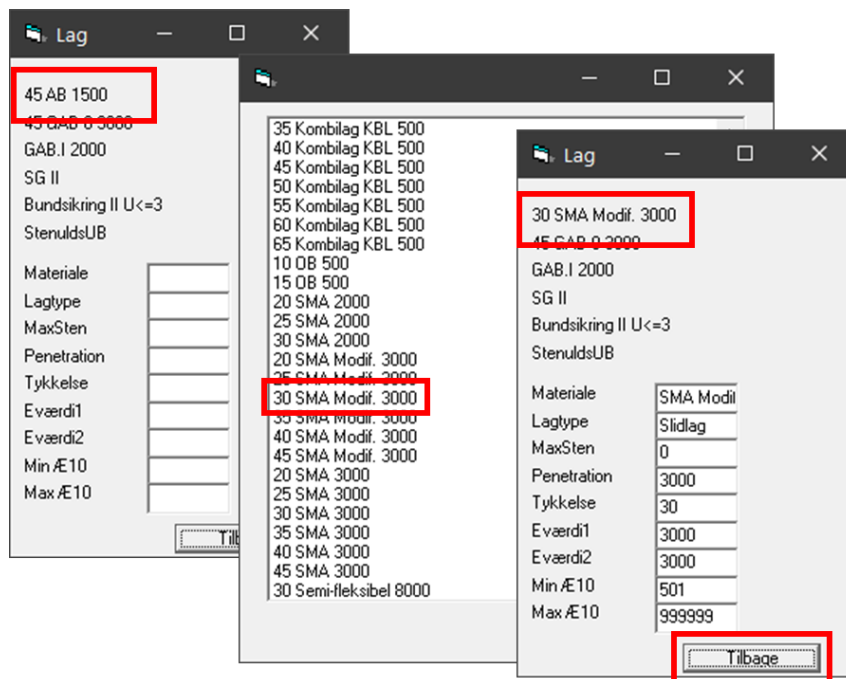
Der vil blive indført hastighedsbegrænsning på 40 km/t, og supplerende geotekniske undersøgelser har vist, at dimensionsgivende bundmodul kun er 30 MPa. Den langsommere trafik tilsiger, at der bør bruges stivere asfalttyper. Trinene i MMOPP dimensioneringen er illustreret i Figur 6 til Figur 9.



Figur 6 Genindlæs den tidligere dimensionerede befæstelse "Eks.1 Rockflow T4 40 MPa 60 km/h"



Figur 7 Klik på knappen "Lag" og vælg slidlaget



Figur 8 Udskiftning af AB slidlag med SMA modificeret. Tryk "Tilbage"

På samme måde udskiftes Bindelag og asfaltbærelag med stivere materialer.

Input parametre

Ny beregning

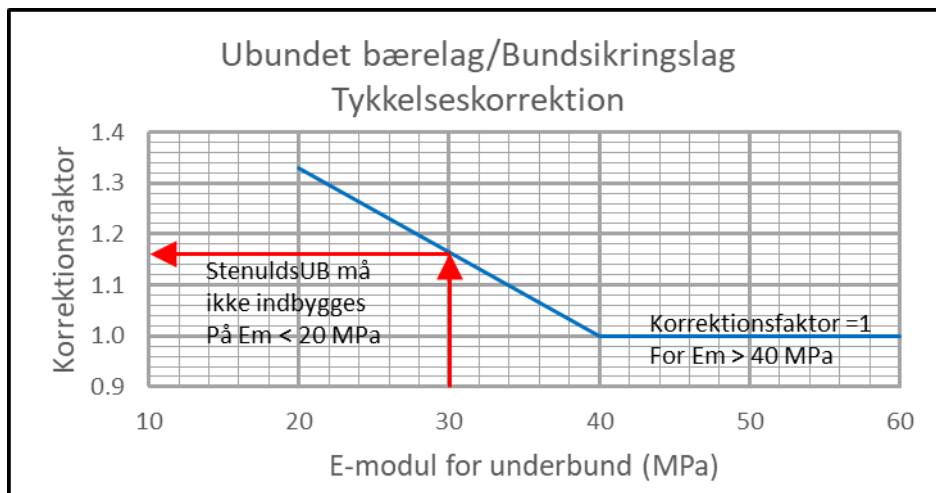
Tykkelse E-værdi 3043

Materiale	Nyt lag	0	0	Gem
30 SMA Modif. 3000	45 ABB Modif 3000 GAB I 3000	139	3494	
SG II		190	300	Slut
Bundsikring II U<=3		380	100	Analytisk
StenuldsUB			20	
Navn	Eks.2.StenuldsUB T4 40 MPa 40 km/h			Levetid, år
Hjul	1			Standard E
Antal pr. år	50000			<input checked="" type="radio"/> Analytisk
Vækst, %	0			<input type="radio"/> Simulation
Min hastighed	30	Max hastighed	50	
År i dimensionering	20			Data.xls

Lag

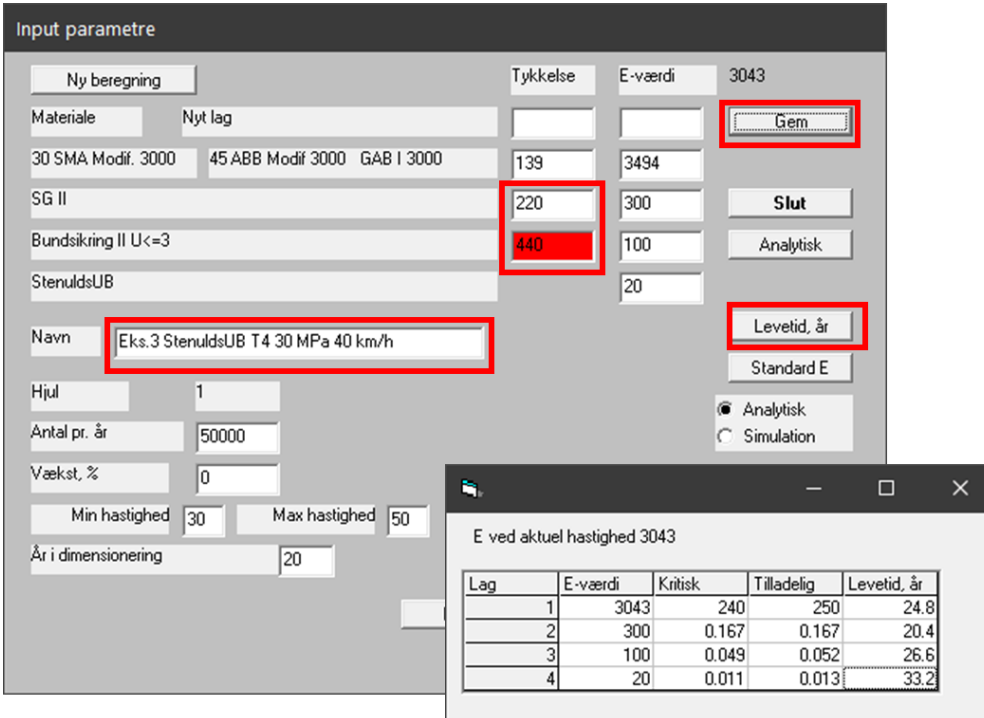
Figur 9 Befæstelse med stivere asfaltmaterialer. Hastigheder ændres til min. 30, max 50 km/h, navn ændres til "Eks.2 Rockflow T4 30 MPa 40 km/h", tryk "Analytisk", tryk "Gem"

Da underbunden under Rockflow ikke har "standardværdien" 40 MPa, skal tykkelserne af SG II og Bundsikringslag justeres i henhold til Figur 1.



Figur 10 Justeringsfaktor for underbund 30 MPa

Justeringsfaktoren bliver 1.16, hvoraf beregnes de afrundede tykkelser 220 mm (SG) og 440 mm (Bundsikringslag). Den resulterende befæstelse kan herefter indtastes i MMOPP og gemmes som " Eks.2 StenuldsUB T4 30 MPa 40 km/h".



The screenshot shows the 'Input parametre' window with several input fields. The 'E-værdi' is set to 3043. The 'Gem' button is highlighted in red. The 'Levetid, år' button is also highlighted in red. The 'Navn' field contains 'Eks.3 StenuldsUB T4 30 MPa 40 km/h'. The 'Analytisk' radio button is selected.

The summary table 'E ved aktuell hastighed 3043' is shown below:

Lag	E-værdi	Kritisk	Tilladelig	Levetid, år
1	3043	240	250	24.8
2	300	0.167	0.167	20.4
3	100	0.049	0.052	26.6
4	20	0.011	0.013	33.2

Figur 11 Indtast justerede SG og BL tykkelser, bibehold navn "Eks.2 Rockflow T4 30 MPa 40 km/h", tryk "Gem", tryk "Levetid, år" og check at levetidskrav er overholdt.

Dimensioneringsprocessen er hermed afsluttet. Ændringen og simplificeringen af asfaltbetegnelserne gør dog, at man manuelt skal sikre sig at de valgte materialer svarer til trafikbelastningen, således som de er opregnet i vejreglens Bilag 1, gengivet herunder.

Tabel 1 Vejreglens definerede anvendelsesområder for bituminøse materialer

Asfaltmaterialer jf. Figur 6.2		Bindemiddel- betegnelse	Anbefalet interval for lagtykkelse [mm]	Interval for trafik [N _{Æ10} /døgn] Trafikklasse	
Slidlag	OB 500	Alle typer	10-15	0-500	T0-T5
	TB k 1000	160/220	20-25	21-200	T3-T4
		100/150	20-25	21-500	T4
	TB k 1500	70/100	20-25	51-500	T4-T5
	TB k 2500	40/60	20-25	501-800	T6
		Modificeret	20-25	501-800	T6
	PA 500	330/440	15-35	0-20	T0-T2
		250/330	15-35	0-200	T0-T3
	AB 1000	160/220	20-40	0-200	T0-T4
	AB 1500	100/150	25-40	51-200	T4
	AB 2000	70/100	25-40	51-500	T4-T5
	AB 3000	40/60	30-40	201-500	T5
	SMA 1000	160/220	20-30	0-50	T0-T3
	SMA 1500	100/150	20-30	0-50	T0-T3
SMA 2000	70/100	20-35	0-200	T0-T4	
SMA 3000	40/60	20-40	0-800	T0-T6	
	Modificeret	25-40	≥501	T6-T7	
SFB 8000	160/220	30-80	≥0	T0-T7	
	70/100	30-80	≥0	T0-T7	
Kombilag	KBL 500	250/330	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 1000	160/220	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 1500	100/150	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 2000	70/100	40-65	0-200	T0-T4
Bindelag	ABB 3000	40/60	40-85	201-500	T5
		Modificeret	40-85	≥201	T5-T7
Bærelag	GAB 0 2000	70/100	40-65	0-200	T0-T4
	GAB 0 3000	40/60	45-70	51-200	T4
	GAB I 2000	70/100	50-100	0-200	T0-T4
	GAB I 3000	40/60	60-110	51-500	T4-T5
	GAB II 3000	40/60	80-180	≥51	T4-T7

4 Litteratur

1. Busch, C. and Skalshøj, J., "Technical Report, Load Testing On Instrumented Mock-Up Pavement"; Lapinus/EKJ Consultants, September 2020
2. "Håndbog, MMOPP Dimensioneringsprogram for Vejbefæstelser", Anlæg og Planlægning, Vejdirektoratet, September 2017
3. "Håndbog, Dimensionering - Befæstelser og Forstærkningsbelægninger, Konstruktioner", Vejregler, Januar 2022
4. Geo, Material Interpretation Report. Back analysis of laboratory tests carried out by Deltares, ATR0101, Report 5, rev. 1, July 2019
5. Lapinus, "Water management with stone wool. Controlled underground rainwater collection and discharge after extreme rainfall", Rockflow Whitepaper
6. Deltares. Lapinus mineral wool test analysis and interpretation. Suggested applications under trafficked areas. Deltares ref. 11200122-000. 2018
7. Busch, C., "Technical Report, Adaptation of Rockflow as Input in Danish Road Directorate MMOPP Pavement Design Program"; Lapinus/EKJ Consultants, March 2021