

Appendix F: Het Snelheid-Wegdiagram, trekkkracht en indicatie

Om te bekijken welke prestaties de locomotief in eerste instantie kan leveren wordt gebruik gemaakt van de methode die wordt besproken in het Handboek der Spoorwegtechniek deel III blz 189 en verder.

Voor de locomotief wordt allereerst de trekkkracht bij de diverse snelheden bepaald. Daarna worden de weerstanden van locomotief en trein apart berekend.

Trekkkracht

De trekkkracht van de locomotief bij stilstand wordt gegeven door;

$T = p \frac{d^2 l}{D}$. Hierin was p de gebruikte druk, in Europa in het algemeen 70% van de

keteldruk. d is de cylinder diameter, l de slag van de zuiger en D de drijfwiel-diameter. De klassieke eenheden werden gebruikt, trekkkracht in kilos, druk in kilo/cm^2 en de diameters en slag in cm. Als de waarden voor de locomotief werden ingevuld, $p=15$, $d = 55$ cm, $l = 66$ cm en $D = 201,6$ cm, dan werd de trekkkracht 8200 kilo. Nu moest er een methode worden gebruikt om de trekkkracht bij verschillende snelheden te kunnen bepalen. De in het Handboek gebruikte methode ging uit van de stoomproductie en wat daarmee haalbaar was. De gebruikte formule in het Handboek

voor stoomgebruik per IPK (indicateur paardekracht) is: $q = \frac{7}{100} \{100 - (p - 12)\}$ kilo.

Dit omdat bij 12 kg/cm^2 het verbruik tussen de 6,5 en 7 kilo lag. Bij een hogere stoomdruk kon het verbruik dan worden aangepast met 1% per atm. In de eerdere berekeningen is echter de grafiek van Postupalsky al gebruikt die laat zien dat e.e.a. geldt bij een stoom temperatuur van 325-350 graden C. Omdat de locomotief oververhitte stoom van 420 graden C gebruikt zakt volgens de grafiek deze waarde naar 5,9 kilo bij 12 bar zodat deze waarde i.p.v. 7 in de formule is gebruikt. Het maximale vermogen N'_i van de locomotief bij de gunstigste snelheid kon nu worden berekend uit:

$N'_i = \frac{Q}{q}$ waarin Q de totale stoomproductie was.

Deze was al berekend op 5744 kilo/uur. Zodat het vermogen $5744 / 5,723 = 1003$ pk zou zijn. Dat vermogen kon ook gedefinieerd worden als: $N'_i = \frac{T_i^1 V^1}{270}$ waaruit volgt

dat de gunstigste snelheid wordt: $V^1 = 270 \frac{N'_i}{T_i^1}$ De trekkkracht hierbij is: $T_i^1 = p_m \frac{d^2 l}{D}$

waarbij de gemiddelde druk in de cylinder moest worden vastgesteld uit ervaringsgegevens. Dit blijkt $3,6 \text{ kg/cm}^2$ te zijn bij een keteldruk van 12 kg/cm^2 en voor elke

atm. Hoger wordt het 3% meer: $p'_m = \frac{3,6}{100} \{100 + 3(p - 12)\}$

Gebaseerd op ervaring kon nu de trekkkracht bij een andere snelheid dan de meest

gunstige worden bepaald door: $\frac{T_i}{T_i^1} = 0,6 \left(2 - \frac{V}{V^1} \right) + 0,4 \frac{V^1}{V}$ bij een lagere snelheid als

de meest gunstige, dus $\frac{V}{V^1} < 1$. Bij een hogere snelheid wordt het:

$$\frac{T_i}{T_i^1} = 0,5 \left(3 - \frac{V}{V^1} \right) \sqrt{\frac{V^1}{V}} \quad \text{met } \frac{V}{V^1} > 1$$

Aangezien de diverse waarden bekend zijn kunnen ze in een rekenblad (zoals Excel) worden ingevoerd. Daaruit komen dan de volgende waarden: $q = 5,723$ kg/lpk, het vermogen $N_i^1 = 1004$ pk, de cylinderdruk $p_m^1 = 3,924$ kg/cm² en de meest gunstige snelheid wordt dan $V^1 = 84,383$ km/u met de trekkkracht van $T_i^1 = 3212$ kg die bij deze snelheid hoort. Met behulp van de trekkkracht verhouding volgens bovenstaande formules bij andere snelheden komt dan de volgende tabel tot stand:

Verhouding T/T ¹	trekkkracht bij	snelheid	ideale snelheid
2,745	8817	20	84
2,112	6782	30	84
1,759	5651	40	84
1,520	4880	50	84
1,336	4290	60	84
1,184	3804	70	84
1,054	3384	80	84
0,936	3006	90	84
0,834	2677	100	84
0,743	2386	110	84
0,662	2125	120	84

Om de trekkkracht aan de koppeling te krijgen moet de eigen weerstand van de locomotief hiervan afgetrokken worden. Het Handboek hanteert de volgende formule:

$$W_1 = 2,5G_l + 5,8G_a + 0,6F \left(\frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \quad \text{waarbij } G_l \text{ het gewicht in tonnen op de niet}$$

gekoppelde assen is, 44,7 ton, G_a het adhesiegewicht, 35 ton en F de oppervlakte van het dwarsprofiel, ca 10 m². Hierbij moet worden aangetekend dat deze formule blijkens de naoorlogse testen waarschijnlijk een te hoge eigen weerstand oplevert. De belasting van de locomotief wordt gevormd door de weerstand van de trein. Daar

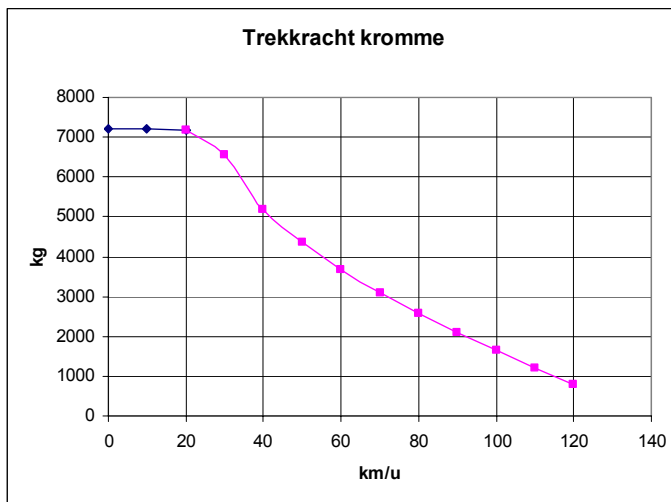
$$\text{wordt de formule: } W = 2,5 + \frac{1}{40} \left(\frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \text{ kilo per ton treingewicht voor}$$

gehanteerd. Van het gebruik hiervan wordt afgezien, het is een formule voor vooroorlogs materieel. Bij de BR testen van de vijftiger jaren zijn ook treinweerstand bepaald. Deze waarden zijn metrisch gemaakt en door middel van "curve fitting" van de bijbehorende formule voorzien, dit geeft:

$W = 2,0606 - 0,0046V + 0,0003V^2$ kilo per ton treingewicht. De formules laten duidelijk zien hoe klein de invloed van het kwadraat van de snelheid eigenlijk is. Voor de locomotief en de trein van 300 ton krijgen we zo de volgende tabel:

Snelheid Km/u	loc Weerstand	trekkracht	trein weerstand
0	118	7216	618
10	136	7198	613
20	166	7168	627
30	208	6575	658
40	465	5186	707
50	531	4349	774
60	609	3682	859
70	699	3105	963
80	801	2583	1084
90	915	2092	1223
100	1041	1636	1380
110	1179	1207	1555
120	1329	796	1749

De grafiek van de trekkracht ziet er dan als volgt uit:



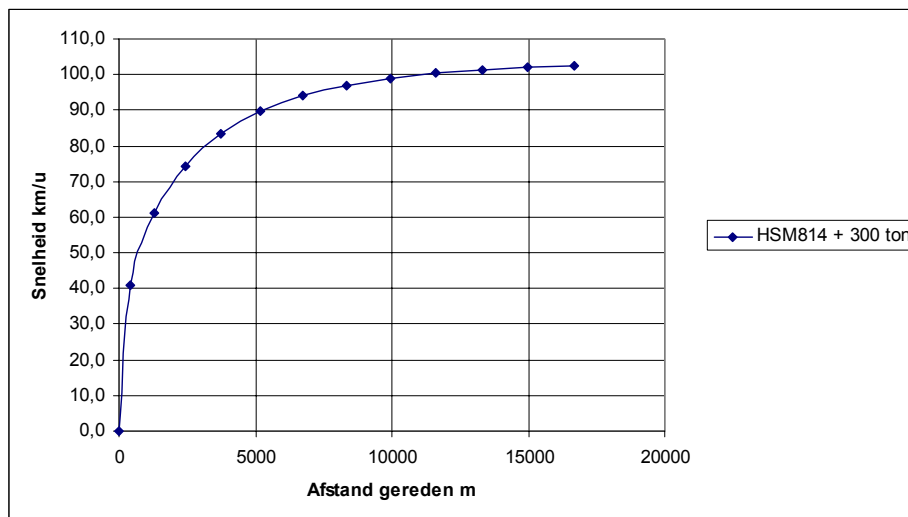
Hierbij moet worden aangetekend dat de trekkracht formule een waarde geeft bij stilstand en lage snelheden die groter is dan het adhesiegewicht en de wrijving met de rail toelaten. Afhankelijk van wielbandkwaliteit, -profiel en toestand van de rails wordt een factor 4,5 gekozen zodat de maximale trekkracht bij de HSM 814 niet boven de 7777 kilo mag uitkomen. De grafiek is er op aangepast.

Omdat nu de locomotief trekkracht, de weerstand van de locomotief en die van de trein bij verschillende snelheden berekend kan worden kan de resterende kracht bepaald worden waarmee de totale trein kan worden versneld: $F = T - W_{loc} - W_{trein}$. Het Handboek hanteerde een grafische methode om daarmee het weg-snelheids diagram te bepalen. In het computer tijdperk hoeft dat niet meer en kan er met stapjes van zeg 10 seconden worden berekend wat de snelheid en de afgelegde weg van de trein wordt.

Bij dit proces wordt de wet van Newton toegepast: $K = ma$, kracht is massa maal versnelling. De versnelling wordt dan kracht gedeeld door massa: $a = K / m$. De versnelling heeft een dimensie van m/sec^2 en als een versnelling wordt vermenigvuldigd met het tijdsinterval t , 10 (seconden) dus, waarin de versnelling optreedt wordt de snelheidsvergroting berekend $\Delta V = a * t$ met een dimensie van m/sec . De snelheid aan het eind van het tijdsinterval is dan $V + \Delta V$ en de afgelegde weg wordt de gemiddelde snelheid tijdens het tijdsinterval maal de tijd ervan: $\Delta S = (V + V + \Delta V) / 2 * t$. De dimensie is nu $m/sec * sec$ geworden en dus een afstand in meters. Bij dit proces moet goed opgelet worden dat de correcte eenheden worden gebruikt. De kracht moet in N(ewton) worden uitgedrukt om een correcte combinatie met de massa van de loc en trein te krijgen. Het resultaat van dit gereken wordt:

Minuut	Weg m	Snelheid km/u
0	0	0,0
1	434	41,1
2	1300	61,2
3	2436	74,3
4	3754	83,3
5	5198	89,6
6	6729	93,9
7	8321	96,9
8	9955	99,0
9	11618	100,4
10	13301	101,4
11	14997	102,1
12	16704	102,6

en grafisch:



Hieruit blijkt dat de HSM814 met deze klassieke berekening een snelheid van rond 103 km/u gaat rijden na ongeveer 12 minuten.

Wat zijn de beperkingen aan deze methode?

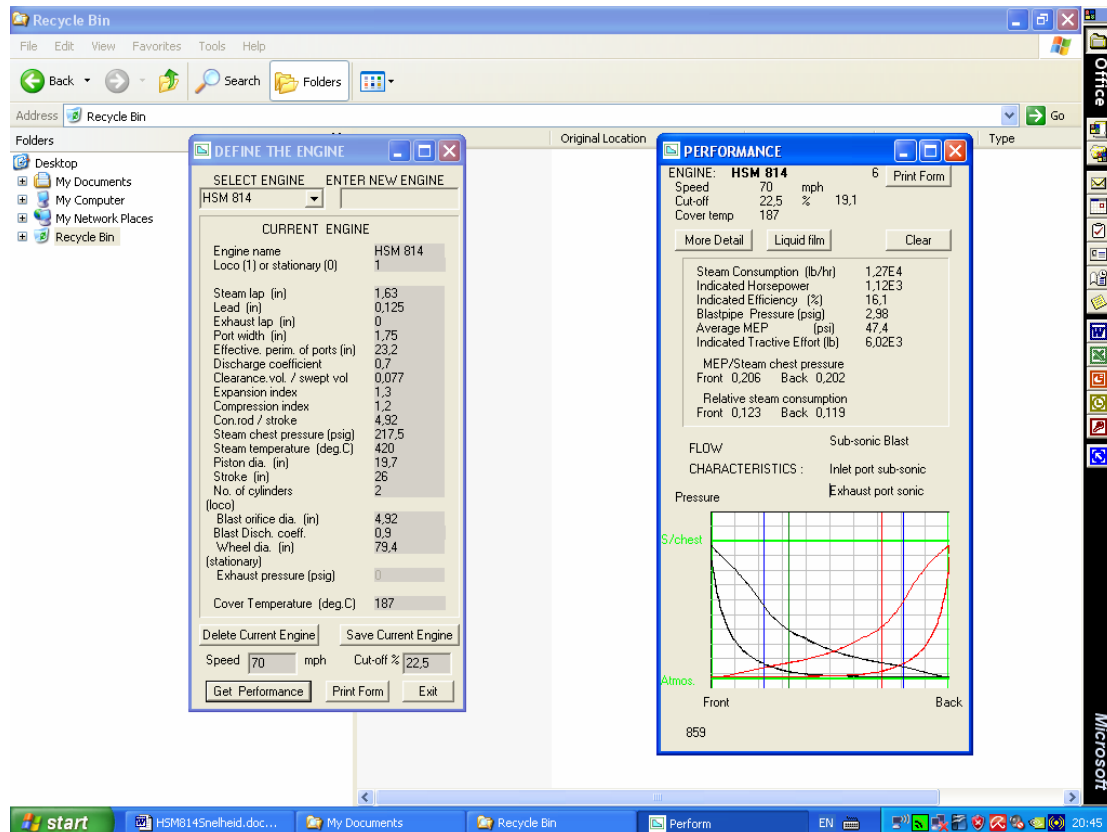
De methode is volledig uitgelegd op klassieke gegevens, 12 atm en 320 °C oververhitting. Met een andere oververhitting wordt in de gemiddelde cylinderdruk van 3,6 kg/cm² geen rekening gehouden. De verbeteringen aan de schuiven en de exhaust, de vergrote oververhitting en de hogere druk gaan er voor zorgen dat het indicator diagram er anders gaat uitzien.

Trekkraft en Indicatie

Voor de effecten van de oververhitting, verbeterde schuiven en exhaust wordt gebruik gemaakt van het programma Perform van Prof. W.Hall, nucleair veiligheids deskundige en zoals vele andere Engelsen van naam heftig geïnteresseerd in stoomlocomotieven. Met behulp van de gegevens uit de rapporten van de testen van British Railways heeft hij de theoretische benadering van de expansie van stoom in een locomotiefcylinder zodanig gemodelleerd dat er een rekenmethode ontstaan is waarmee de gevolgen van allerlei wijzigingen kunnen worden bestudeerd. In het geval van de HSM814 kan de Perform benadering van de LNER B1 test dus worden

gebruikt voor de toegepaste keteldruk, oververhitting en de oppervlakte van de exhaustmond.

Uit de berekeningen blijkt dat de locomotief een 13% groter vermogen heeft dan het Handboek aanneemt, ook de trekkracht is groter. De consequentie is dat de locomotief met de nominale hoeveelheid stoom boven 110 km/u kan rijden. Het verder opvoeren van de snelheid kan met extra stoom door extra stoken. Er wordt nominaal ca. 900 kilo kolen per uur verstoekt. De door BR genoemde "grate limit" is bij een rooster van 2m² en 600 kilo roosterbelasting per m² al 1200 kilo terwijl er bij de proeven met de B1 is doorgestookt tot 924 kilo/m².



Voorbeeld Perform bij 70 mph(112,5 km/u) en 22,5% cylindervulling

Conclusie

De stoomproductie en het gebruik daarvan in de cylinders geven voldoende aanleiding om te vertrouwen op maximale snelheden van rond 120km/u met een treingewicht van 300 ton.