Kragten Design **ing. Adriaan Kragten**

Populierenlaan 51
5492 SG Sint-Oedenrode
Nederland

telefoon: 0413 475770
e-mail: info@kdwindturbines.nl
website: www.kdwindturbines.nl

Gespecialiseerd in het ontwerpen van elektriciteit opwekkende windmolens en PM-generatoren

Adriaan Kragten, Sint-Oedenrode 20-2-2023

Het 5-ventiels euphonium van Adams

1 Inleiding

Op koperinstrumenten kunnen zonder de ventielen te gebruiken, alleen hogere harmonischen van de grondtoon geproduceerd worden. Deze tonen, maar ook alle tonen waarvoor ventielen nodig zijn, kunnen worden aangeduid door het rangnummer van de harmonische gevolgd door de naam van de toon. Het normale bereik van een koperinstrument loopt tot de achtste harmonische maar zeer goede blazers komen tot de twaalfde of zelfs nog wel hoger. De tonen zijn dan: (1C), 2C, 3G, 4C, 5E, 6G, (7Bes), 8C, 9D, 10E, (11Fis) en 12G. De grondtoon 1C is erg laag en moeilijk te spelen en wordt daarom niet gebruikt. De 7Bes is te laag en de 11Fis is veel te hoog. De te vermijden tonen staan daarom tussen haakjes.

Bij de gebruikelijke aanduiding van de tonen van een ventielinstrument staat er een nummer achter de naam van de toon. Een 2C komt overeen met een C1. Een 4C komt overeen met een C2. Een 8C komt overeen met een C3. Het voordeel van mijn aanduiding is dat gelijk klinkende tonen met verschillende vingerzetting een verschillende naam hebben. Een G1 kan los gespeeld worden maar ook met 1 + 3. Los noem ik deze toon een 3G. Met 1 + 3 noem ik deze toon een 4G.

Het is opmerkelijk dat alle moderne koperinstrumenten, uitgezonderd de schuiftrombone en de schuiftrompet, gebruik maken van drie schuif- of drie draaiventielen om de zes tonen die liggen tussen de 2C en de 3G te kunnen spelen. Ventiel 1, 2 en 3 worden bediend door respectievelijk de wijsvinger, de middelvinger en de ringvinger van de rechterhand (met uitzondering van de hoorn die met de linkerhand bespeeld wordt). Een ingedrukt ventiel voegt een stukje ventielbuis toe aan de hoofdbuislengte waardoor de toon lager wordt. De volgende verlagingen worden veroorzaakt door een ingedrukt ventiel en door combinaties van ingedrukte ventielen: Ventiel 1 verlaagt een hele toon. Ventiel 2 verlaagt een halve toon. Ventiel 3 verlaagt anderhalve toon als de ventielstembuis geheel ingedrukt is. Bij een optimaal afgestelde ventielstembuis voor een instrument zonder triggers wordt de toon echter te laag en ventiel 3 wordt daarom normaal niet alleen gebruikt. Ventiel 1 + 2 verlaagt anderhalve toon. Ventiel 2 + 3 verlaagt twee tonen. Ventiel 1 + 3 verlaagt twee-en-een-halve toon. Ventiel 1 + 2 + 3 verlaagt drie tonen.

Een gevolg van het gebruik van slechts drie ventielen en een onzuiver derde ventiel is dat er dus twee of drie ventielen gecombineerd moeten worden voor een verlaging van meer dan twee halve tonen. Dit heeft als nadeel dat de toon bij combinatie van ventielen te hoog wordt. Immers, de door een bepaald ventiel toegevoegde lengte die correct is met betrekking tot de hoofdbuislengte, is te kort als de hoofdbuislengte al door een ander ventiel verlengd is. De grootste afwijking treedt op bij de ventielcombinatie 1 + 2 + 3. In mijn notitie over de Quadrofoon wordt een instrument met vier ventielen beschreven met kleinere afwijkingen.

Euphoniums worden vaak uitgevoerd met een extra vierde ventiel dat een kwart ofte wel vijf halve tonen verlaagt en dat met een vinger van de linkerhand bediend wordt. De afwijkingen die optreden bij het gebruik van dit kwartventiel 4 in combinatie met de andere drie ventielen zijn nog groter dan bij het gebruik van alleen de combinaties van ventielen 1, 2 en 3. Er zijn dan ook euphoniums waarbij het kwartventiel gecompenseerd wordt.

Hierdoor is het mogelijk om het gat tussen de 1C en de 2Ges te overbruggen en dat verlaagt het bereik omlaag met meer dan een octaaf. Toch blijven hierbij ook nog behoorlijke afwijkingen aanwezig omdat ventiel 3 normaal niet gecompenseerd wordt.

De afwijking die ontstaat als ventiel 3 gecombineerd wordt met ventiel 1 en 2 kan gecorrigeerd worden met een trigger op het derde ventiel. Deze trigger verlengt de stembuis van ventiel 3. Als geen trigger toegepast wordt, dan wordt de stembuis van ventiel 3 meestal zo ver uitgetrokken dat de combinatie 1 + 3 zuiver is. De combinatie 2 + 3 is dan 0,9 % te laag en de combinatie 1 + 2 + 3 is dan 1,4 % te hoog maar deze afwijkingen zijn nog goed met embouchure te corrigeren. De afwijkingen die optreden met een niet gecompenseerd ventiel 4, zijn bij het gebruik van meer dan twee ventielen echter zo groot dat die niet meer met embouchure te compenseren zijn.

Met instrumenten die gebruikt worden voor westerse muziek moet men in staat zijn om in alle toonaarden te spelen. Daarvoor moet het instrument tonen volgens de gelijkzwevende stemming kunnen voortbrengen. Bij de gelijkzwevende stemming zit er een verhouding $2^{1/12} = 1{,}059463$ tussen de tonen die een halve toonafstand van elkaar liggen. Op een ventielinstrument worden, zonder de ventielen te gebruiken, echter hogere harmonischen van de grondtoon voortgebracht en die stemmen volgens de harmonische stemming. Sommige van deze hogere harmonischen zoals de 7Bes en de 11Fis wijken zo ver af van de gelijkzwevende stemming dat zij vermeden moeten worden. De 5^{e} harmonische 5E is 0,8 % te laag maar deze harmonische is nog wel bruikbaar als de toon met embouchure wat opgedreven wordt.

2 Vingerzettingen en afwijkingen voor het 5-ventiels euphonium van Adams

De firma Adams uit Thorn bouwt diverse typen euphoniums. Alle gangbare typen hebben vier ventielen. Het vierde ventiel verlaagt een kwart en wordt bediend met een vinger van de linkerhand. Het type Sonic heeft een vierde ventiel dat niet gecompenseerd is. Voor de overige typen wordt het vierde ventiel wel gecompenseerd. Compensatie houdt in dat er bij indrukking van ventiel 4 en één of meerdere van de andere drie ventielen, extra lussen worden toegevoegd. Hiervoor is het nodig dat er in de ventielen geen drie maar zes boringen zitten. Gecompenseerde ventielen zijn daarom langer en dus ook zwaarder. Compensatie van het vierde ventiel maakt het instrument ook aanmerkelijk gecompliceerder en duurder.

Op YouTube staat een recent filmpje over het euphonium type Sonic van Adams waar een vijfde ventiel aan werd toegevoegd. De titel van dit filmpje is: “The Adams 5-valve Non-compensating euphonium”, link: www.youtube.com/watch?v=8JMCsr4_RQQ. Dit vijfde ventiel is een draaiventiel en het wordt bediend met de duim van de linkerhand. Er wordt gezegd dat dit vijfde ventiel even veel verlaagt als de combinatie van ventiel 2 + 3. Dat wil zeggen dat dit ventiel een grote terts ofte wel vier halve tonen verlaagt. Er wordt ook gezegd dat het met dit instrument mogelijk is om de chromatische tonen te spelen die tussen de 1C en de 2Ges liggen. Dit werd in het filmpje gedemonstreerd maar er werd niet verteld welke vingerzettingen gebruikt worden. Omdat ik benieuwd ben hoe ver deze tonen afwijken van de gelijkzwevende stemming als zij niet met embouchure gecorrigeerd worden, heb ik dat in deze notitie uitgezocht.

In het filmpje wordt ook aangegeven dat het vijfde ventiel niet alleen gebruikt wordt om de lage tonen boven de 1C te kunnen spelen maar dat bepaalde intervallen in het middelbereik daar ook gemakkelijker snel mee te spelen zijn. Ik heb geprobeerd om op de website van Adams meer over dit nieuwe instrument te vinden maar daar niets gevonden.

Om te weten hoe groot de afwijkingen zijn t. o. v. de gelijkzwevende stemming moet eerst de vereiste verlenging voor de gelijkzwevende stemming berekend worden voor de elf chromatische tonen die liggen tussen de 1C tot de 2C. Het resultaat van deze berekening staat in tabel 1. Hoewel er voor de gelijkzwevende stemming voor bepaalde intervallen hoorbare zwevingen optreden tussen bepaalde hogere harmonischen, wordt er vanuit gegaan dat de gelijkzwevende stemming zuiver is. De grote afwijkingen die op kunnen treden bij gebruik van de harmonische stemming worden berekend in mijn notitie: “De harmonische stemming”.

Bij de gelijkzwevende stemming komt een halve toon verlaging neer op een frequentiedaling met een factor $2^{1/12}$. De op een blaasinstrument geproduceerde toon is evenredig met de buislengte. Daarom moet de buislengte met een factor $2^{1/12}$ ofte wel 1,059463 verlaagd worden om een halve toon verlaging te verkrijgen. Voor verlaging van een hele toon ofte wel twee halve tonen, is verlenging van de buislengte met een factor $2^{2/12}$ ofte wel 1,122462 nodig, enzovoorts. De theoretische hoofdbuislengte wordt L gesteld.

In mijn notitie over de Basbugel (een bugel met een extra kwintventiel) wordt in hoofdstuk 4 de juiste manier gegeven om L te bepalen (alle genoemde notities staan op mijn website onder het menu “No wind energy”). Dit gaat op basis van de lengte van de ventielbuis van het derde ventiel. Een berekening op basis van de geluidsnelheid levert nagenoeg dezelfde waarde op. Het blijkt dat de werkelijke lengte van de hoofdbuis aanmerkelijk korter is dan de theoretische lengte L waarmee de berekeningen worden uitgevoerd. De werkelijke buislengte was ongeveer 1370 mm. In deze notitie werd voor een Bes-trompet of Bes-bugel bepaald dat L = 1480 mm wat dus ongeveer 110 mm langer is dan de werkelijke buislengte.

Een euphonium staat in Bes maar klinkt een octaaf lager dan een trompet of een bugel in Bes. De buislengtes zijn daarom een factor twee langer. We vinden dan dat L = 2960 mm en dat de werkelijke buislengte ongeveer 2740 mm is. De theoretische buislengte wordt l genoemd en de theoretische lengtetoename, l – L wordt n genoemd. De berekende waardes van l en n als functie van L worden voor verlagingen van 1 t/m 11 halve tonen weergegeven in tabel 1. De waarden van l en n in mm (afgerond op 1 mm) voor L = 2960 mm worden ook weergegeven in tabel 1.

verlaging	theoretische buislengte l	theoretische lengtetoename n	theoretische buislengte l in mm	lengtetoename n in mm
1 halve toon	l_1 = 1,059463 L	n_1 = 0,059463 L	l_1 = 3136 mm	n_1 = 176 mm
2 halve tonen	l_2 = 1,122462 L	n_2 = 0,122462 L	l_2 = 3322 mm	n_2 = 362 mm
3 halve tonen	l_3 = 1,189207 L	n_3 = 0,189207 L	l_3 = 3520 mm	n_3 = 560 mm
4 halve tonen	l_4 = 1,259921 L	n_4 = 0,259921 L	l_4 = 3729 mm	n_4 = 769 mm
5 halve tonen	l_5 = 1,334840 L	n_5 = 0,334840 L	l_5 = 3951 mm	n_5 = 991 mm
6 halve tonen	l_6 = 1,414214 L	n_6 = 0,414214 L	l_6 = 4186 mm	n_6 = 1226 mm
7 halve tonen	l_7 = 1,498307 L	n_7 = 0,498307 L	l_7 = 4435 mm	n_7 = 1475 mm
8 halve tonen	l_8 = 1,587401 L	n_8 = 0,587401 L	l_8 = 4699 mm	n_8 = 1739 mm
9 halve tonen	l_9 = 1,681793 L	n_9 = 0,681793 L	l_9 = 4978 mm	n_9 = 2018 mm
10 halve tonen	l_{10} = 1,781797 L	n_{10} = 0,781797 L	l_{10} = 5274 mm	n_{10} = 2314 mm
11 halve tonen	l_{11} = 1,887749 L	n_{11} = 0,887749 L	l_{11} = 5588 mm	n_{11} = 2628 mm

tabel 1 Waarde theoretische buislengte l en lengtetoename n als functie van de verlaging

Voor de berekeningen van de afwijkingen wordt het volgende aangenomen:
Ventiel 1 dat 2 halve tonen verlaagt, is zuiver. De lengte toename n_2 is dus 362 mm. Ventiel 2 dat 1 halve toon verlaagt, is zuiver. De lengte toename n_1 is dus 176 mm. Bij een zuiver ventiel 1 en een zuiver ventiel 2 is de combinatie 1 + 2 ongeveer 0,6 % te hoog maar dat is nog gemakkelijk met embouchure te compenseren.
Ventiel 3 wordt zo afgesteld dat de combinatie 1 + 3 zuiver is en dus vijf halve tonen verlaagt. De lengte toename van ventiel 1 + 3 is dus n_5 en daarmee 991 mm. Dit geeft voor de lengtetoename van ventiel 3 dat deze is $n_5 – n_2$ = 991 – 362 = 629 mm.
Ventiel 4 dat 5 halve tonen verlaagt, is zuiver. De lengte toename n_5 is dus 991 mm.
Ventiel 5 dat 4 halve tonen verlaagt, is zuiver. De lengte toename n_4 is dus 769 mm.
Verder wordt aangenomen dat gezien vanuit de 2C, één tot en met vier halve tonen verlaging verkregen wordt met behulp van de normale vingerzettingen. De 2As wordt dus verkregen met 2 + 3.

De 2G wordt verkregen door indrukking van alleen ventiel 4. Tussen de 2G en de 1C liggen dan nog de zes tonen 2Ges, 2F, 2E, 2Es, 2D en 2Des en die zullen met bepaalde vingerzettingen gemaakt moeten worden waarbij ook de ventielen 1, 2, 3 of 5 betrokken zijn. Voor het speelgemak zou het handig zijn als dit logische ventielcombinaties zijn die lijken op de combinaties die gebruikt worden voor de overige tonen.

De volgende verlengingen zouden gerealiseerd moeten worden voor deze zes tonen: 2Ges geeft n_6 = 1226 mm. 2F geeft n_7 = 1475 mm. 2E geeft n_8 = 1739 mm. 2Es geeft n_9 = 2018 mm. 2D geeft n_{10} = 2314 mm. 2Des geeft n_{11} = 2628 mm.

Voor een instrument met een gecompenseerd kwartventiel gebruikt men om vanuit de 2G omlaag te gaan, dezelfde vingerzetting als die gebruikt worden om vanaf de 3G omlaag te gaan. Dit zijn dus erg logische vingerzettingen. Voor een instrument waarbij het kwartventiel niet gecompenseerd is worden de tonen steeds meer te hoog naarmate men lagere tonen wil spelen. Als het instrument naast een kwartventiel ook nog een extra vijfde grote terts ventiel heeft dat vier halve tonen verlaagt dan zouden deze afwijkingen voor een deel geneutraliseerd kunnen worden mits de juiste ventielcombinaties gekozen worden. Maar deze ventielcombinaties zullen vast minder logisch zijn dan bij een gecombineerd kwartventiel en er zullen mogelijk ook grotere afwijkingen voorkomen.

Er werd eerst gekeken wat de combinatie 5 + 4 oplevert. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. 5 + 4 geeft dus een lengtetoename van 769 + 991 = 1760 mm. De 2E geeft dat n_8 = 1739 mm. De ventielcombinatie 5 + 4 geeft dus een toon die net wat te laag is voor een 2E. De procentuele afwijking wordt gegeven door de formule:

$$\text{Procentuele afwijking} = 100\,(l - o) / l \qquad (\%) \qquad (1)$$

Hierin is l de theoretische buislengte en o de werkelijke buislengte. o is L plus de werkelijke verlenging. Invulling van l_8 = 4699 mm en o_8 = 2960 + 1760 = 4720 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van -0,45 %. Dit is nog minder dan de afwijking van de 5E die -0,8 % is. Deze afwijking is dus nog gemakkelijk met embouchure te corrigeren. De vingerzetting 5 + 4 is dus bruikbaar voor de 2E. Het is wel zo dat de 2Ges en de 2F dus niet gevonden kunnen worden met de ventielcombinatie 5 + 4.

Stel we gebruiken 4 + 2 voor de 2Ges. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. 4 + 2 geeft dus een lengtetoename van 991 + 176 = 1167 mm. De 2Ges geeft dat n_6 = 1226 mm. De ventielcombinatie 4 + 2 geeft dus een toon die te hoog is voor een 2Ges. Invulling van l_6 = 4186 mm en o_6 = 2960 + 1167 = 4127 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 1,41 %. Dit is een behoorlijke afwijking maar omdat een te hoge toon gemakkelijker met embouchure te corrigeren is dan een te lage toon, is dit nog wel te doen. De afwijking is gelijk aan de afwijking die gevonden wordt wanneer de 2Ges gespeeld wordt met 1 + 2 + 3 en wanneer de stembuis van ventiel 3 zover uitgetrokken is dat 1 + 3 zuiver is.

Stel we gebruiken 4 + 1 voor de 2F. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 1 verlaagt twee halve tonen en er geldt dus dat n_2 = 362 mm. 4 + 1 geeft dus een lengtetoename van 991 + 362 = 1353 mm. De 2F geeft dat n_7 = 1475 mm. De ventielcombinatie 4 + 1 geeft dus een toon die behoorlijk wat te hoog is voor een 2F. Invulling van l_7 = 4435 mm en o_7 = 2960 + 1353 = 4313 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 2,75 %. Dit is toch wel een erg grote afwijking. Het is zo dat de procentuele afwijking tussen twee tonen die een halve toon van elkaar verschillen ongeveer 5,9 % is. Een afwijking van 2,75 % is dus ongeveer een factor 0,47 van een halve toonafstand wat toch wel erg veel is om met embouchure te corrigeren. Deze ventielcombinatie is dus niet aan te raden voor een 2F. Misschien is het mogelijk om met een andere ventielcombinatie een 2F te krijgen die minder sterk afwijkt van de gelijkzwevende stemming.

Stel we gebruiken 5 + 2 + 1 voor de 2F. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. Ventiel 1 verlaagt twee halve tonen en er geldt dus dat n_2 = 362 mm. 5 + 2 + 1 geeft dus een lengtetoename van 769 + 176 + 362 = 1307 mm. Dit is nog minder dan de waarde van 1353 mm voor 4 + 1 en deze combinatie is dus nog meer te hoog voor een 2F.

Stel we gebruiken 4 + 2 + 1 voor de 2F. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. Ventiel 1 verlaagt twee halve tonen en er geldt dus dat n_2 = 362 mm. 4 + 2 + 1 geeft dus een lengtetoename van 991 + 176 + 362 = 1529 mm. De 2F geeft dat n_7 = 1475 mm. De ventielcombinatie 4 + 2 + 1 geeft dus een toon die weer te laag is voor een 2F. Invulling van l_7 = 4435 mm en o_7 = 2960 + 1529 = 4489 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van -1,22 %. Deze afwijking is aanzienlijk kleiner dan die van de combinatie 4 + 1. Maar de toon is nu wel te laag en het is lastiger om een toon met embouchure te verhogen dan om een toon te verlagen.

Stel we gebruiken 5 + 3 voor de 2F. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 3 verlaagt meer dan drie halve tonen als de combinatie 1 + 3 zuiver is. Eerder werd berekend dat de lengtetoename van ventiel 3, 629 mm is. 5 + 3 geeft dus een lengtetoename van 769 + 629 = 1398 mm. De 2F geeft dat n_7 = 1475 mm. De ventielcombinatie 5 + 3 geeft dus een toon die te hoog is voor een 2F. Invulling van l_7 = 4435 mm en o_7 = 2960 + 1398 = 4358 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 1,74 %. De toon is nu weer te hoog maar minder te hoog dan met 4 + 1 en daardoor nog goed met embouchure te verlagen. Dit lijkt mij de beste combinatie om een 2F te spelen

Het voordeel van de 2Ges met 4 + 2 en de 2F met 5 + 3 is dat de afwijkingen beiden positief en ongeveer even groot zijn. Men moet dus ongeveer dezelfde correctie met de embouchure toepassen als beide tonen na elkaar gespeeld worden.

Er blijven nu nog drie tonen over waarvoor de optimale vingerzetting gevonden moet worden namelijk de 2Es, de 2D en de 2Des.

Stel we gebruiken 5 + 4 + 2 voor de 2Es. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. 5 + 4 + 2 geeft dus een lengtetoename van 769 + 991 + 176 = 1936 mm. De 2Es geeft dat n_9 = 2018 mm. De ventielcombinatie 5 + 4 + 2 geeft dus een toon die te hoog is voor een 2Es. Invulling van l_9 = 4978 mm en o_9 = 2960 + 1936 = 4896 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 1,65 %. Dit is positieve een afwijking die nog met embouchure te corrigeren is en die ongeveer even groot is als de afwijking in de 2Ges en de 2F. Dit lijkt mij daarom een bruikbare vingerzetting voor de 2Es.

Stel we gebruiken 5 + 4 + 1 voor de 2D. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 1 verlaagt twee halve tonen en er geldt dus dat n_2 = 362 mm. 5 + 4 + 1 geeft dus een lengtetoename van 769 + 991 + 362 = 2122 mm. De 2D geeft dat n_{10} = 2314 mm. De ventielcombinatie 5 + 4 + 1 geeft dus een toon die veel te hoog is voor een 2D. Invulling van l_{10} = 5274 mm en o_{10} = 2960 + 2122 = 5082 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 3,64 %. Dit is zeer grote positieve een afwijking en dit lijkt mij daarom geen bruikbare vingerzetting voor de 2D.

Stel we gebruiken 5 + 4 + 2 + 1 voor de 2D. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. Ventiel 1 verlaagt twee halve tonen en er geldt dus dat n_2 = 362 mm. 5 + 4 + 2 + 1 geeft dus een lengtetoename van 769 + 991 + 176 + 362 = 2298 mm. De 2D geeft dat n_{10} = 2314 mm. De ventielcombinatie 5 + 4 + 2 + 1 geeft dus een toon die maar iets te hoog is voor een 2D.

Invulling van l_{10} = 5274 mm en o_{10} = 2960 + 2298 = 5258 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 0,30 %. Dit is zeer kleine positieve afwijking en dit is daarom een bruikbare vingerzetting voor de 2D.

Stel we gebruiken 5 + 4 + 3 + 2 voor de 2Des. Ventiel 5 verlaagt vier halve tonen en er geldt dus dat n_4 = 769 mm. Ventiel 4 verlaagt vijf halve tonen en er geldt dus dat n_5 = 991 mm. Ventiel 3 verlaagt meer dan drie halve tonen als de combinatie 1 + 3 zuiver is. Eerder werd berekend dat de lengtetoename van ventiel 3, 629 mm is. Ventiel 2 verlaagt één halve toon en er geldt dus dat n_1 = 176 mm. 5 + 4 + 3 + 2 geeft dus een lengtetoename van 769 + 991 + 629 + 176 = 2565 mm. De 2Des geeft dat n_{11} = 2628 mm. De ventielcombinatie 5 + 4 + 3 + 2 geeft dus een toon die wat te hoog is voor een 2Des. Invulling van l_{11} = 5588 mm en o_{11} = 2960 + 2565 = 5525 mm in formule 1 geeft een procentuele afwijking van + 1,13 %. Dit is acceptabele positieve afwijking en dit is daarom zeker een bruikbare vingerzetting voor de 2Des.

Met 5 + 4 + 3 + 2 + 1 krijgt men een C die ongeveer even hoog is als de 1C maar men kan dan beter de grondtoon 1C spelen zonder ventielen te gebruiken. Het is dus mogelijk om voor alle tonen tussen de 1C en de 2G een bruikbare vingerzetting te vinden. De gevonden optimale vingerzettingen met de bijbehorende afwijkingen worden weergegeven in tabel 2.

toon	ventielnummer	procentuele afwijking
2G	4	0 %
2Ges	4 + 2	+ 1,41 %
2F	5 + 3	+ 1,74 %
2E	5 + 4	- 0,45 %
2Es	5 + 4 + 2	+ 1,65 %
2D	5 + 4 + 2 + 1	+ 0,30 %
2Des	5 + 4 + 3 + 2	+ 1,13 %
1C	geen	0 %

tabel 2 Optimale ventielcombinatie en procentuele afwijking als functie van de toon

Behalve voor de 2E zijn alle procentuele afwijkingen positief. De grootste afwijking zit in de 2F. Er zijn nog drie andere ventielcombinaties voor de 2F bekeken maar die geven of een nog grotere positieve procentuele afwijking of een behoorlijk grote negatieve afwijking die lastiger met embouchure te corrigeren is. De gevonden optimale ventielcombinaties zijn niet zo logisch als voor een euphonium met een gecompenseerd kwartventiel maar toch ook weer niet zo onlogisch. Het moet toch mogelijk zijn om met enige studie deze ventielcombinaties aan te leren. Bij een saxofoon worden er voor tonen boven het normale bereik ook afwijkende vingerzettingen gebruikt en er zijn genoeg saxofonisten die dit perfect beheersen.

Omdat het met een vijfde ventiel mogelijk is om vanaf de 2G chromatische omlaag te spelen naar de 1C, kan men nu ook vanaf de 1C nog verder chromatisch omlaag gaan. Hoe ver men omlaag komt, hangt af van het mondstuk en van de vaardigheid van de muzikant maar men kan toch stellen dat er aan de onderkant zeker een octaaf bijgekomen is. Als alle vijf ventielen ingedrukt zijn dan kom je theoretisch tot aan de C onder de 1C maar die kan ik met mijn naamgeving van de tonen niet benoemen of je zou hem de 1Deses moeten noemen.

Het voordeel van een vijfde ventiel dat een grote terts verlaagt boven compensatie van het kwartventiel, is dat de andere ventielen kort en licht zijn, dat de weerstand veel minder is en dat het instrument minder gecompliceerd is en dus ook goedkoper gemaakt kan worden. Daarnaast heeft een ventiel dat een grote terts verlaagt nog als voordeel dat er in het middengebied bepaalde intervallen gemakkelijker mee te spelen zijn dan met alleen de ventielen 1, 2 en 3. Ik vind dan ook dat Adams met dit idee van een extra vijfde ventiel dat een grote terts verlaagt, een aanzienlijke bijdrage geleverd heeft aan de ontwikkeling van het euphonium.