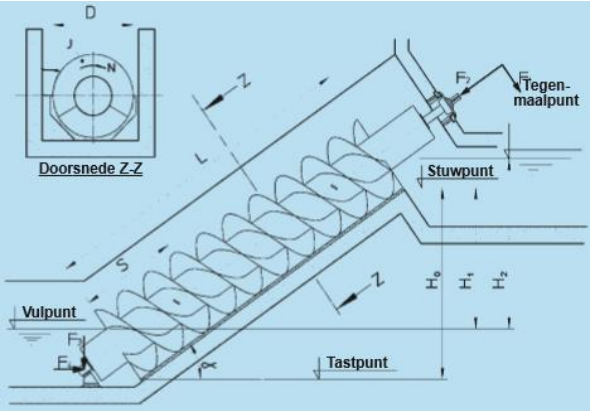
4.18.5 Vijzels

Het principe van de vijzel is in de 3e eeuw v. Chr. al bekend als de schroef van Archimedes. Na de uitvinding van de tonmolen, waarbij een schroeflint in een buis is bevestigd die meedraait, werd dit opvoerwerktuig ook ingezet voor bemaling in Nederland. De vijzel zoals wij die nu kennen voor de bemaling, werd in 1634 als uitvinding van Symon Hulsbos geïntroduceerd. Eerst bij de windwatermolen en vanaf 1825 ook in gemalen voorzien van mechanische aandrijving zoals een stoommachine.

De vijzel bestaat uit de vijzelbalk (een spil), die omgeven is door twee of drie schroeflinten. De dikke balk is aan de boven- en de onderzijde voorzien van een stalen as die is opgelegd in draaipunten met glij- rol- of kogellagers. Het bovenlager is naast de radiaal lagering ook voorzien van een axiaal lagering om de trekkracht veroorzaakt door het gewicht van de vijzel en dat van het te verplaatsen water op te vangen.

De vijzel wordt onder een hoek tussen de 22 en 30º met de horizontaal in een halfronde goot, of opleider, opgesteld. Voor een grote opstellingshoek, dus een steil geplaatste vijzel, moet de spoed van de schroeflinten in verhouding tot de diameter kleiner zijn dan voor een vijzel met een kleine hoek om een gelijke vulling te behouden. Het onderste deel van de vijzel bevindt zich onder water. Waar onder de waterlijn de goot en de beschoeping beginnen noemt men het tastpunt. Aan de andere zijde van de balk waar de beschoeping en de goot eindigen noemen we het stort- of stuwpunt. Verder wordt nog onderscheiden het vulpunt: het laagst mogelijke polderpeil waarbij juist voldoende water tussen de beschoeping toetreedt om deze geheel te vullen, en het tegenmaalpunt, het boezem/buitenpeil boven het stortpunt waar het opgevoerde water net niet over de vijzelbalk terugstroomt.



Omdat het water in de goot van de vijzel tijdens het malen in de draairichting gezien scheef staat wordt de goot iets doorgetrokken of van een zogenoemde maalkant voorzien. Zou men dit niet doen dan stroomt een aanzienlijke hoeveelheid water terug richting de instroming en gaat een deel van de capaciteit verloren.

Benaming vijzelonderdelen (Landustrie Sneek)

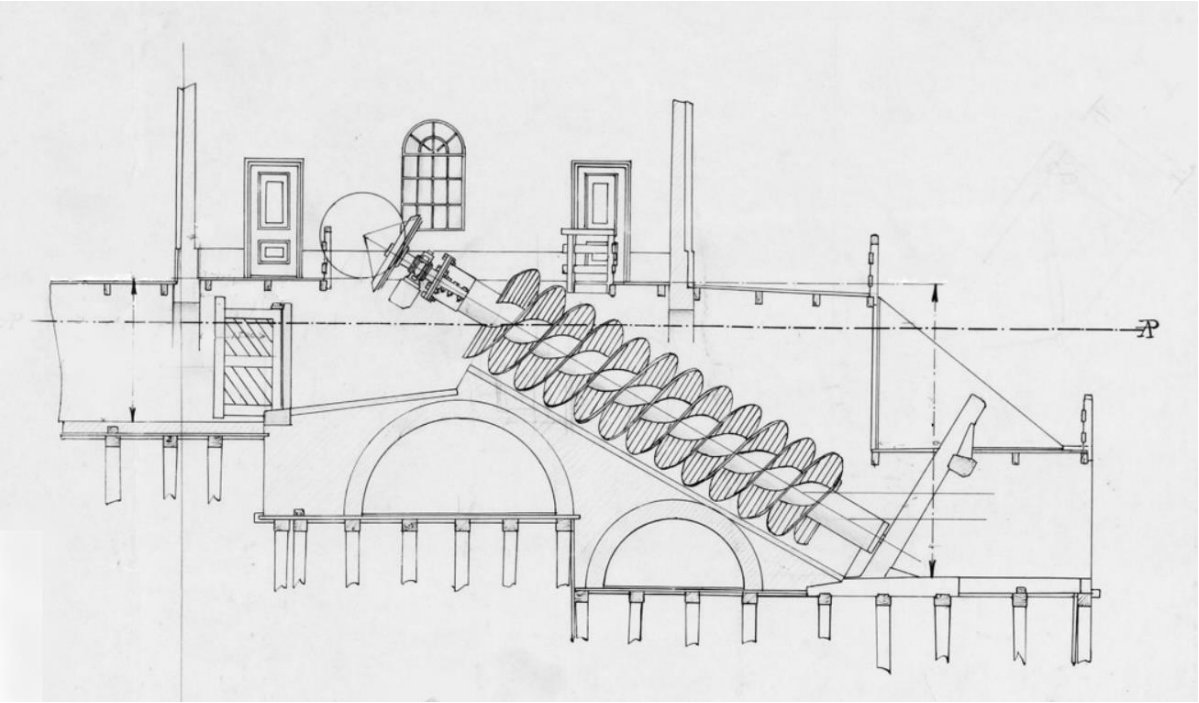
De vijzelas is met een klauwkoppeling bevestigd aan een tussenas. Op de tussenas zit bij de oude installaties een conisch tand- of kamwiel dat samenwerkt met een eveneens conisch rondsel. Bij jongere installaties vervalt de tussenas en is het conische tandwiel rechtstreeks op vijzelas geplaatst. Hedendaagse en soms ook oude aangepaste vijzelinstallaties bij museale stoomgemalen zijn met behulp van een flexibele koppeling gekoppeld aan een gesloten haakse tandwieloverbrenging. De rondselas is voorzien van een riemschijf of een kamwiel dat samen werkt met respectievelijk een kleine riemschijf of rondsel.

Constructie

Aanvankelijk werden vijzels samengesteld uit hout. De doorgaans eikenhouten balk of spil werd voorzien van drie vaak uit grenenhouten duigen samengestelde schroeflinten. De duigen werden naast elkaar in de van te voren in de balk gehakte ondiep groeven gestoken welke aan de omtrek en vaak ook op het werkvlak met behulp van dunne stalen strippen bijeen werden gehouden. Bij de houten vijzels werden vaak slechts twee schroeflinten toegepast. Op de beide aseinden werd een gietijzeren of een stalen muts met astap geklemd. Hierbij moest de uiterste zorg worden besteed aan de uitlijning van de twee astappen en de hartlijn van de cilindervorm van de beschoeping.
Grote afwijkingen leiden tot slijtage van de lagers dan wel de duigen van de beschoeping. Als gevolg hiervan kan de vijzel in de veelal gemetselde goot aanlopen en ontstaat er een te grote speling en dientengevolge bovenmatig lekverlies. Ook kan te zwaar aanlopen tot breuk van de kammen van de houtentandwielen leiden. Het spreekt voor zich dat voor het maken van een houten vijzel het nodige vakmanschap vereist is.

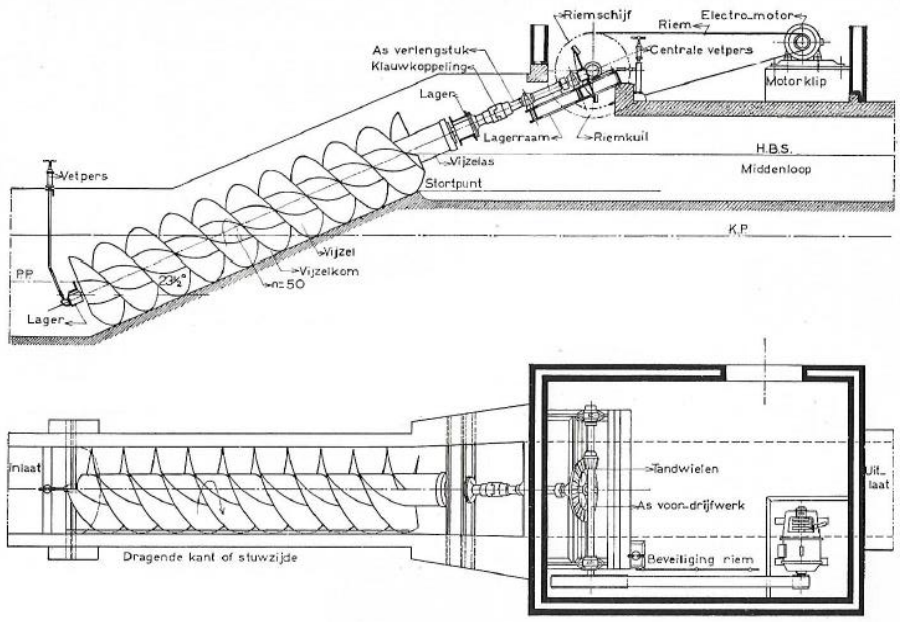
Houten vijzel

Bij de hier onder weergegeven vijzelinstallatie van het voormalige stoomgemaal Ursem wordt getoond dat zowel het boven- als het onderlager van de vijzel worden afgesteund op een zware houten balkconstructie. Het onderlager, hier ook gelijk het taatslager, vaak bestaande uit niet meer dan een bronzen bus of pot, is in een schuin opgestelde balk onder gebracht.



Houten vijzelopsteling in Stoomgemaal Ursem

In de loop van de 19e eeuw begon men vijzels uit staal samen te stellen. De schroeflinten werden uit voorgevormde plaatstalen delen gemaakt, van een felsrand voorzien en vervolgens met bouten aan de stalen balk geschroefd en aaneen geklonken. Ook werden wel gietijzeren vijzels toegepast echter deze vijzels waren erg zwaar en zeer gevoelig voor harde voorwerpen in het aangevoerde water,vanwege de lage breeksterkte van gietijzer.



Vijzelopstelling met drijfriem

In de 20e eeuw is men zich meer en meer gaan toeleggen op het vervaardigen van (elektrisch) gelaste vijzels. Ook bij deze fabrikage wijze worden de schroeflinten uit voorgevormde schoepsegmenten opgebouwd echter zonder felsrand. De vorm van de segmenten: het schroefprofiel, wordt met behulp van een hydraliche pers met een mesvormig stempel aangebracht waarna ze stuk voor stuk op de vijzelbalk worden gelast. De vijzelbalk bestaat uit een naadloos stalen buis van 8 á 10 mm wanddikte. De vijzel beschoeping met een dikte van 3 á 5 mm, wordt na het lassen op een soort grote draaibank met een snijbrander op de juiste diameter gesneden. Ook de ingelaste astappen worden op deze bank in dezelfde bewerkingsgang nabewerkt zodat een zuivere uitlijning wordt verkregen van zowel de astappen als de cilindervorm van de beschoeping met die van de astappen.

Opleider

De opleider werd vroeger gemaakt van metselsteen. De stenen werden op de kant en met de strek in de lengterichting van de opleider vermetseld. Het uiteindelijke resultaat was tamelijk ruw wat men soms voor lief nam of oploste door het ruwe zichtvlak van een laag specie te voorzien. Tegenwoordig worden de opleiders gemaakt met behulp van een dunne metalen mal of worden ingedraaid. Bij de methode met de metalen mal wordt de vijzel met de mal in het werk boven de ruw in beton voorgevormde opleider opgesteld. Na het opstellen wordt de aldus gevormde kist gedicht en van bovenaf volgegoten met slappe betonmortel. Na verharding wordt de vijzel gelicht en de mal weggenomen.

Bij de indraaimethode wordt een van de schroeflinten aan de top voorzien van een u-vormig gootje van dun plaatmateriaal ter dikte van de lekspleet-wijdte, of er wordt over de lengte van de bechoeping een stalen snaar gespannen. Vervolgens wordt de vijzel inclusief de overbrenging in de uiteindelijke positie opgesteld en voorzien van een langzaam draaiende elektrische hulpaandrijving. Men laat de vijzel met behulp van de aandrijving langzaam draaien en voegt van onder af cementmortel toe tussen de beschoeping. Het teveel aan mortel wordt door de beschoeping naar boven toe meegenomen net zo lang tot de gehele opleider is gevuld. Na verharding wordt het u-vormige gootje of de snaar verwijderd en blijft er een gladde nauwkeurig met overal dezelfde lekspleetwijdte gevormde opleider over.

Capaciteit

De nominale opbrengst van een vijzel Q_n is de inhoud van de twee of drie waterkrullen tussen de schoepen die per minuut worden opgebracht. Door prof.ir J Muijsken is in de jaren dertig van de vorige eeuw berekend dat deze opbrengst als volgt te berekenen is:

$$Q_n = q \,.\, n \,.\, D^3 \;\; [m^3/min]$$

Hierin is q een waarde afhankelijk van de vijzelvorm, namelijk die van de verhouding van de spoed S tot de vijzeldiameter D , van de verhouding van de vijzeldiameter D tot de diameter van de balk d, en verder van de hellingshoek van de vijzel, het aantal omwentelingen n en de diameter D. De waarden voor q zijn in onderstaande tabel weergegeven.

d/D	Hellingshoek 22 º		Hellingshoek 26 º			Hellingshoek 30 º	
	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D
0,3	0,288	0,291	0,238	0,250	0,249	0,214	0,213
0,4	0,304	0,329	0,248	0,275	0,281	0,228	0,236
0,5	0,300	0,330	0,244	0,276	0,298	0,277	0,250
0,6	0,274	0,305	-	0,258	0.284	-	0,237

Waarden q voor bepalen debiet (stalen vijzels en 3 gangen)

Uit de tabel valt af te leiden dat bijna in alle gevallen een verhouding van d/D =0,45 de grootste opbrengst geeft. In de praktijk wordt deze verhouding weinig aangetroffen en kiest men voor een dikte van de balk van 0,35 – 0,4 van de vijzeldiameter hetgeen uit constructief oogpunt, doorbuiging van de balk, voldoende is. bij langere vijzels, langer dan 3 á 4 meter, zal men ten koste van de opbrengst voor een groter verhoudings getal kiezen om overmatig doorbuigen te voorkomen.
Tijdens de werking van de vijzel lekt er onvermijdelijk een constante hoeveelheid water weg naar beneden. Het water stroomt van boven naar beneden, daar iedere gang wordt bijgevuld door het lekwater van de gang er boven. Volgens de eerder genoemde professor Muijsken is dit verlies voor een vijzel met een diameter D en een lekspleetwijdte s ongeveer:

$$Q_l = 150 \,.\, s \,.\, D \,.\sqrt{D} \;\; [m^3/min]$$

De lekspleetwijdte s wordt wordt met behulp van de volgende empirisch bepaalde formule afgeleid van de diameter van de vijzel en luidt:

$$s = 0{,}0045\sqrt{D} \;\; [m]$$

Door substitutie s in voorgaande formule :

$$Q_l = 150 \,.\, 0{,}0045\sqrt{D} \;.\; D \,.\sqrt{D} \;\; [m^3/min]$$

Of:

$$Q_l = 0{,}675 \,.\, D^{\,2} \;\; [m^3/min]$$

Voor een onder een hoek van 30º opgestelde vijzel met een diameter van 1,8 m, een toerental van 30 omw/min, een d/D verhouding van 0,5 en een S =D betekent dit een nominale opbrengst van:

$$Q_n = q \,.\, n \,.\, D^3 = 0.250 \,.\, 30 \,.\, 1{,}8^3 = 43{,}7 \;\; [m^3/min]$$

Het lekverlies bedraagt:

$$Q_l = 0{,}675 \,.\, D^{\,2} = 0{,}675 \,.\, 1{,}8^2 = 2{,}2 \;\; [m^3/min]$$

Dit betekent een verlies van 5 % van de berekende nominale opbrengst. In de praktijk wordt in verband met de meer of minder zuivere afwerking van de opleider voor het lekverlies 5 % aangenomen.

In voornoemd voorbeeld bedraagt de berekende lekspleetwijdte:

$$s = 0{,}0045\sqrt{D} = 0{,}0045\ \sqrt{1{,}8} = 0{,}006\ [m]$$

Met behulp van een mal, snaar, of een andere gerenommeerde techniek om vijzelopleiders in te draaien is deze speling bij niet al te lange vijzels terug te brengen tot 3 mm en in het geval van ons voorbeeld het lekverlies daardoor tot de helft reduceren.
In gunstige omstandigheden is de werkelijke opbrengst van de vijzel iets hoger dan de op de bovenstaande wijze berekende hoeveelheid. De voornaamste reden hiervan is, dat het water hoger in de gangen komt te staan dan het laagste punt waarover het kan wegstromen. Bij verschillende in het verleden uitgevoerde proefnemingen bedroeg de werkelijke opbrengst 13 tot 20% meer. De formule voor de werkelijke opbrengst waar doorgaans mee gerekend wordt luidt daarom:

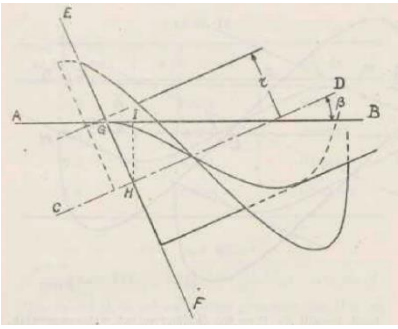
$$Q = 1{,}15\ .\ q\ .\ n\ .\ D^3\ \ [m^3/min]$$

Voor het voorbeeld betekent dit een werkelijk waterverzet van:

$$Q = 1{,}15\ .\ q\ .\ n\ .\ D^3 = 1{,}15\ .\ 0.250\ .\ 30\ .\ 1{,}8^3 = 50{,}3\ [m^3/min]$$

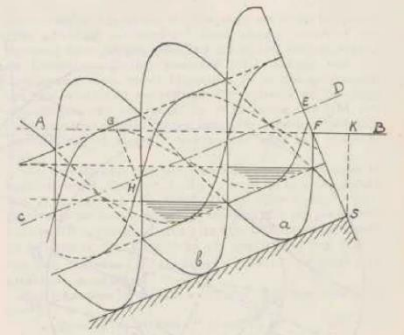
Hierna worden de voorwaarden voor een dergelijke opbrengst puntsgewijs nader uiteengezet en toegelicht:

De binnen waterstand moet op of boven het vulpunt liggen zodat er met volle schoepen wordt gemalen. Het na te streven polderpeil moet dus ruimschoots boven de bovenkant van de balk, ter plaatse waar de beschoeping begint, liggen. In de figuur hiernaast is dit punt met de letter G aangegeven. Zoals reeds aangegeven noemen we dit het vulpunt. Hierbij moet rekening worden gehouden dat er tijdens het malen een zogenoemde verhanglijn ontstaat om het water naar het gemaal te kunnen laten stromen. Bij het gemaal staat dan tijdens het malen het water een aantal centimeters lager dan het streefpeil in de polder.



Vulpunt vijzel

De buiten waterstand mag niet hoger liggen dan het tegenmaalpunt omdat dan een deel van het reeds opgevoerde water over de vijzelbalk terugstroomt. Om aan deze voorwaarde te voldoen wordt het hart van de vijzelbalk aan de bovenzijde op 0,10 tot 0,15 m boven de hoogst voorkomende buiten waterstand gelegd. Beter is om bij het bepalen van het zogenoemde tegenmaalpunt gebruik te maken van de tabel van de door Muijsken bepaalde factoren voor verschillende vijzelvormen en opstellingshoeken.



Het tegenmaalpunt ligt op een hoogte S-K boven het stortpunt S en wordt met F in de figuur hiernaast aangegeven.

$$S - K = f \,.\, D \;\; [m]$$

Tegenmaalpunt vijzel

Voor de vijzel met een diameter van 1,8 m uit het eerder gegeven voorbeeld betekent dit:

$$S - K = f \,.\, D = 0{,}33 \,.\, 1{,}8 = 0{,}594 \;\; [m]$$

Het tegenmaalpunt ligt bij de vijzel uit ons voorbeeld dus ongeveer 0,60 m of 1/3 D boven het stortpunt hetgeen als een algemeen geldende waarde gehanteerd wordt.

d/D	Hellingshoek 22 º		Hellingshoek 26 º			Hellingshoek 30 º	
	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D
0,3	0,39	0,33	0,39	0,32	0,26	0,35	0,27
0,4	0,42	0,36	0,43	0,36	0,29	0,37	0,30
0,5	0,47	0,40	0,47	0,40	0,33	0,40	0,33
0,6	0,50	0,43	-	0,43	0.36	-	0,37

Waarden f voor het bepalen tegenmaalpunt (stalen vijzels en 3 gangen)

Dat de lekverliezen tot een minimum moeten worden beperkt is overduidelijk. Hiervoor is reeds aangegeven dat een zo klein mogelijke lekspleet hiertoe bijdraagt. Door goed lageronderhoud tijdens gebruik kan men de bij de nieuwbouw bereikte lekspleet handhaven. Overmatige lagerslijtage kan bij vijzels lang onopgemerkt blijven en tot het slijten van de schoeptoppen leiden. Een bekend euvel en veroorzaker van lager- en vijzelschade zijn gebroken of doorgeroeste vetleidingen naar het onderlager.

De vijzel moet het juiste aantal omwentelingen maken. Een laag toerental gaat ten koste van de capaciteit en ook van het rendement. Bij een te hoog toerental wordt als gevolg van de wrijving het op te voeren water over de vijzelbalk getrokken en zal er water dat aan de beschoeping kleeft door de centrifugaalkracht naar buiten worden geslingerd en langs de opleider naar beneden wegstromen. Beide verschijnselen veroorzaken een rendementsverlies.

Het wegslingeren van het water noemt men buizen en hoeft zich bij goed ontworpen en mechanisch aangedreven vijzelgemalen niet voor te doen.
Voor de ontwerptoerentallen van vijzels is een aantal verschillende formules voorhanden. De meest bij de huidige praktijk passende formule is die van Horch en luidt:

$$n = \frac{50}{\sqrt[\frac{2}{3}]{D}} [\text{omw/min}]$$

Voor de vijzel met een diameter van 1,8 m betekent dit:

$$n = \frac{50}{\sqrt[\frac{2}{3}]{1{,}8}} = 34\ [\text{omw/min}]$$

Verder wordt door Horch aanbevolen geen groter toerental te bezigen dan hierna wordt aangegeven om het eerder vermelde over de balk draaien c.q. wegslingeren van het water te voorkomen.

$$n \leq \frac{64}{\sqrt[\frac{2}{3}]{D}} [\text{omw/min}]$$

Vermogen

Het vermogen van 1 pk is gelijk aan 75 kgm/sec en het gewicht van 1 l water: 1kg. Als de capaciteit, en de opvoerhoogte van de vijzel bekend zijn kan men met deze wetenschap op de volgende wijze het theoretisch benodigde vermogen aan de as van de vijzel berekenen:

$$P_{va} = \frac{Q\,.\,1000\,.\,h}{60\,.\,75} = \frac{Q\,.\,h}{4{,}5}\ [\text{pk}]$$

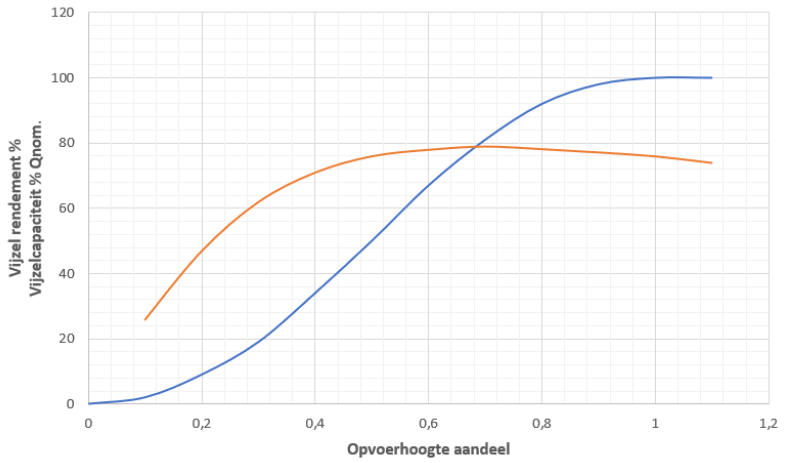
Als het maximale peilverschil tussen de polder en het boezem/buitenwater 2,5 m is, dan bedraagt het theoretisch benodigde vermogen aan de as van de vijzel uit voorgaand voorbeeld:

$$P_{va} = \frac{50{,}3\,.\,2{,}5}{4{,}5} = 28\ [\text{pk}]$$

Een goed uitgevoerde vijzel heeft een totaal rendement, dus inclusief de aandrijving, dat varieert tussen de 60 en 65 %. Het vermogen dat aan de as van het aandrijfwerktuig uit het voorbeeld beschikbaar dient te komen is bij een rendement van 60 %:

$$P_{va} = \frac{50{,}3\,.\,2{,}5}{4{,}5\,.\,\frac{60}{100}} = 47\ [\text{pk}]$$

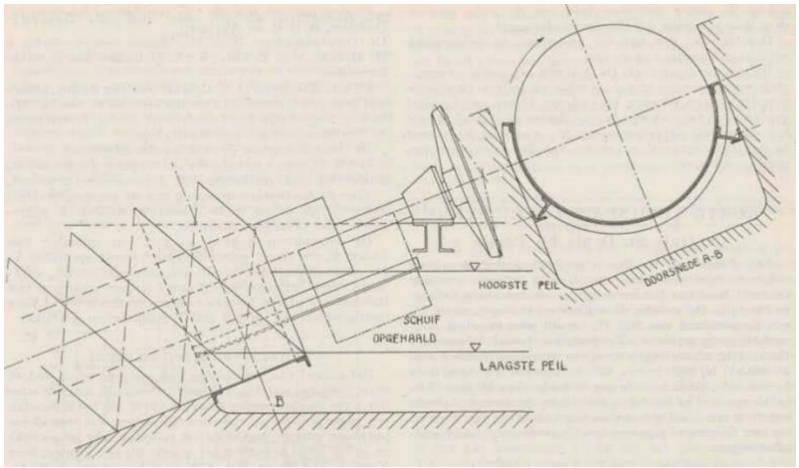
Het vermogen van de stoommachine dient in dit voorbeeld dus ongeveer 50 apk te bedragen.
De capaciteit en het rendement van de vijzel verandert als het polderpeil onder dat van het vulpunt komt te liggen. Omdat de schoepen niet meer volledig gevuld zijn neemt de capaciteit af, echter als gevolg van dat de vijzel minder diep in het water steekt neemt het rendement eerst gering toe. Uit de grafiek valt ook af te lezen dat het omgekeerde plaats vindt als het polderpeil boven het vulpunt komt te liggen.



Capaciteit en rendement vijzel bij gebruik onder vulpunt

De x as van de hierboven getoonde grafiek geeft het aandeel weer van het niveauverschil tussen het tastpunt en het vulpunt. Dit betekent dat bij 0,5 het polderpeil waarbij gemalen wordt precies halverwege het tastpunt en het vulpunt ligt en bij 1 het polderpeil samenvalt met het vulpunt.

Een nadeel van de vijzel is dat als het boezem/buiten- peil lager ligt dan het stortpunt van de vijzel het water toch tot de hoogte van het stortpunt moet worden opgevoerd.



Vijzel met verstelbare opleider

De opvoerhoogte is in dat geval groter dan het werkelijke verschil tussen het binnen en buitenwater. Waar grote verschillen in de buiten- waterstanden voor komen worden daarom vijzels toegepast met een verstelbare opleider of twee voor verschillende opvoerhoogtes geschikte vijzels. De stalen verstelbare opleider kan als schuif worden uitgevoerd maar ook als een om het laagste stortpunt scharnierende klep. In alle gevallen moet door de machinist van het gemaal handmatig het juiste stortpunt worden ingesteld en zal het vermogen van de aandrijving moeten worden bepaald voor de grootste opvoerhoogte.