

## **Nieuwe meettechniek voor het meten van persdruk tijdens vormbakprocédé**

Auteur: Coen (C.D.) van Mosseveld  
Stichting Technisch Centrum voor de Keramische Industrie (TCKI)  
Postbus 27  
6880 AA Velp (Gld)  
Nederland  
Tel +31(0)26 3845600  
Fax +31(0)26 3845601  
E-mail [info@tcki.nl](mailto:info@tcki.nl)

### **Auteursbeschrijving**

Coen van Mosseveld (1961) is afgestudeerd aan de HTS te Arnhem in de studierichtingen werktuigbouwkunde (1987) en meet-&regeltechniek (1994). Als adviseur is hij sinds 1987 werkzaam op terrein van procesoptimalisatie en energiebeheer bij de processen kleivoorbereiding, vormgeving, drogen en bakken. Daarnaast is hij deskundig op het terrein van akoestiek en ondersteunt hij daarmee de aanvraag van milieuvergunningen.

### **Samenvatting**

Het TCKI heeft een snelle meettechniek toegepast voor het meten van drukverlopen tijdens vormgevingsprocessen voor keramische producten. Het betreft hier een meettechniek waarbij tot 1000 metingen per seconde kunnen worden geregistreerd met behulp van een dataacquisitiesysteem. Het TCKI maakt hierbij gebruik van speciale snelle druksensoren die geschikt zijn om in kleimassa's drukken te meten. Samen met kleidrukken is de stand van het persblok (as hoekstand) vastgelegd en zijn de start en stoptijden van het vormbakkencircuit gelijktijdig geregistreerd. Tijdens proefnemingen zijn onder verschillende persinstellingen gelijktijdig op drie verschillende plekken in het persblok van een De Boer vormbandpers met hydraulisch bestuurd persblok kleidrukken gemeten tijdens meerdere volledige perscycli uitgevoerd. Naast drukmetingen in het persblok zijn er drukmetingen uitgevoerd in het onderste gedeelte van de perskuip om drukvariaties als gevolg van de roerinstallaties vast te leggen. Er zijn meetseries uitgevoerd waarbij het perstempo, de instelling van het onderste dode punt en bovenste dode punt versteld zijn. Uit de proefnemingen komt naar voren dat de maximale persdruk niet gehaald wordt op het moment dat het persblok zijn onderste dode punt bereikt heeft maar op het moment dat de snelheid van het persblok significant gaat afnemen. Tevens komt naar voren dat de gemiddelde piekdruk sterk samenhangt met de grootte van de hoekverdraaiing (slag) van het persblok. Hoe groter de hoekverdraaiing hoe hoger de gemiddelde piekdruk zal oplopen. Tevens vastgesteld dat de onderdrukken tijdens de opwaartse slag van het persblok eveneens oplopen wanneer de hoekverdraaiing vergroot wordt. Vastgesteld is dat het roerwerk in de perskuip (staande assen) van invloed is op de te bereiken piekdrukken. De piekdrukken volgen een afgeleide van een sinuscyclus die samenhangt met de omwentelingssnelheden van de staande assen. Tevens is vastgesteld dat er geen sprake is van een gelijkmatige verdeling van de druk over de breedte van het persblok. Het is niet zo dat de druk op een bepaald punt altijd hoger is dan op een ander punt. Hierin vinden wisselingen plaats die waarschijnlijk veroorzaakt worden de plaatselijk verschillen in voordruk in de perskuip als gevolg van het roerwerk. Uit het kwaliteitsonderzoek van de stenen die bemonsterd zijn tijdens de proefnemingen komt naar voren dat stenen die geperst zijn met te hoge persdrukken persstructuren vertonen. Stenen die geperst zijn met te lage drukken vertonen vormafwijkingen. De optimale persdruk is een druk die minimaal is waarbij nog net voldoende vulling gerealiseerd wordt. Persdruk meting is een welkome meettechniek die kan bijdragen aan optimalisatie van het persprocédé en kan bijdragen aan het oplossen

van kwaliteitsproblemen. Nader onderzoek naar de relatie tussen kleiplasticiteit en persdruk is gewenst. Mogelijk dat snelle meting van de persdruk een goede meettechniek kan zijn voor de bepaling en regeling van de kleiplasticiteit in de praktijk.

## 1. Inleiding

In september 2002 heeft het TCKI onderzoek afgerond naar nieuwe meettechnieken in de keramische industrie. Eén van de nieuwe meettechnieken betrof een meetmethode ter bepaling van de werkingsgraad van kleivoorbewerkingsmachines (zie KGK artikel 2003 nr. 5). In dit artikel wordt de andere meettechniek, te weten "snelle drukmetingen in kleimassa's." beschreven.

In het bedoelde onderzoek zijn praktijkproeven uitgevoerd waarbij de druk in een kop van een cilinder werd geregistreerd tijdens een persing waarbij klei van verschillende samenstelling door een relatief nauwe opening naar buiten werd geperst. De proeven toonde aan dat drukmetingen in principe mogelijk zijn onder gecontroleerde omstandigheden.

Om het praktisch nut van de meettechniek te vergroten is door het bestuur van het TCKI voorgesteld aanvullend onderzoek uit te voeren waarbij de persdruk geregistreerd wordt in het persblok van een vormbakmachine tijdens reguliere productieomstandigheden van een baksteenbedrijf. Dit besluit is de directe aanleiding voor het onderzoek.

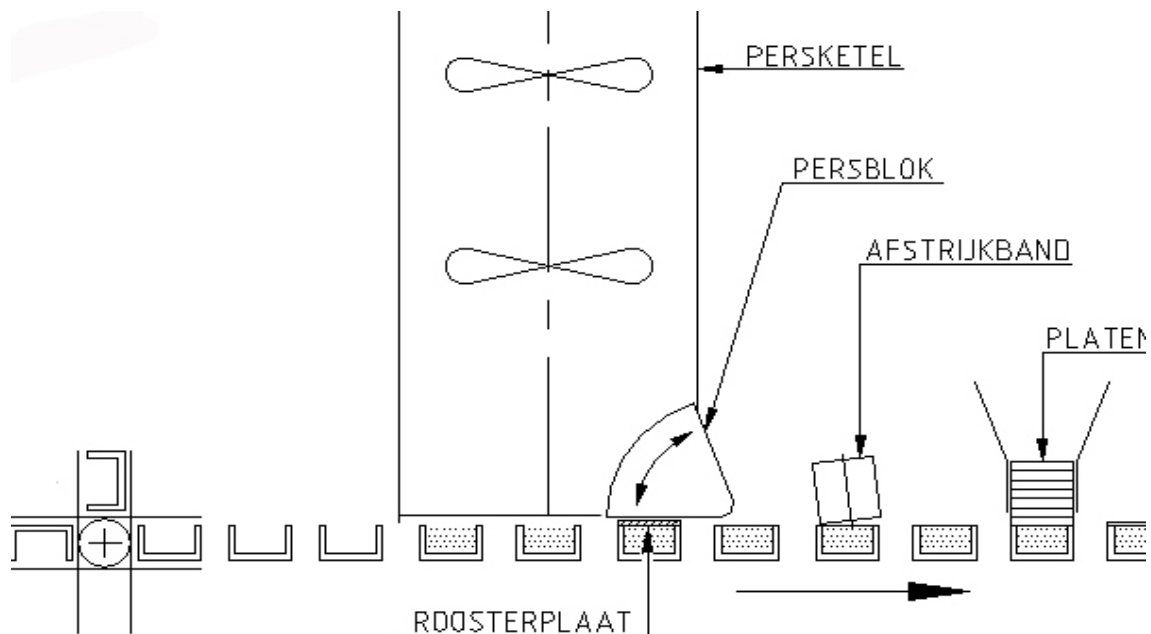
Om het onderzoek mogelijk te maken was het noodzakelijk dat er naar partners gezocht werd. Een voor de hand liggende keuze was om een machinebouwer van baksteenpersen "Machinefabriek De Boer" te Nijmegen en een baksteenproducent in het samenwerkingsverband op te nemen. Het betreft hier een pers met een zogenaamd hydraulisch aangedreven persblok, waarbij zeer snel persinstellingen gewijzigd kunnen worden. Tevens heeft de pers een flexibele persbesturing, waardoor zeer uiteenlopende persinstellingen snel te realiseren zijn.

Na voorbereidingen en aanschaf van meetapparatuur is in juni 2003 een start gemaakt met het project.

## 2. Principes vormbakpers

### 2.1 Algemene kenmerken

In figuur 1 is schematisch de werking van de vormbakpers weergegeven. De aanvoer van voorbereide klei vindt plaats in de perskuip en wordt van bovenaf ingebracht. Hierbij wordt het niveau in de perskuip constant gehouden om de voordruk onderin de perskuip gelijk te houden. Onderin de perskuip bevindt zich het zogenaamde persblok. Deze maakt een heen en weergaande beweging en wordt aangedreven door een as die een bepaalde hoekverdraaiing maakt. De hoekverdraaiing is instelbaar. Bij het proefbedrijf kan de bovenste en de onderste stand ingegeven worden d.m.v. programmering in de besturing. Deze waarden worden in graden hoekverdraaiing ingegeven. In dit verband worden de termen (BDP=bovenste dode punt) en (ODP=onderste dode punt) gebruikt. Op het moment dat het persblok bovenin staat wordt onder invloed van de voordruk plastische klei aan de onderzijde van het persblok toegelaten. Op dat moment stroomt tevens een deel van de klei reeds in de onderliggende vorm. Op het moment dat het persblok naar onderen beweegt wordt de klei geforceerd in de vorm geperst. De klei bereikt onderliggende vormen via een zogenaamde roosterplaat. De roosterplaat draagt bij aan een gelijkmatige vulling van de vormen en bescherming van de aanwezige bezanding in de bakken. Het vulproces gaat door totdat de vormband zijn ODP bereikt. Na het bereiken van het ODP krijgen de vormbakken het commando naar de volgende positie te bewegen. Daarna beweegt het persblok naar boven tot het BDP, waarna een nieuwe cyclus kan starten. In het principeplaatje is tevens te zien dat de vormen twee posities na het persblok afgestreeken worden om een glad oppervlak aan de onderzijde van de vormling te bewerkstelligen. Twee posities na de afstriker worden de vormbakken met klei erin voorzien van een droogplaat. Uiteindelijk belanden de vormbakken met droogplaat in omgekeerde positie in de "natte" lift vanwaar ze getransporteerd worden naar de drogerij.



Figuur 1: Principe De Boer vormbakpers

Voor het onderzoek is het van belang te weten dat de druksensoren in het drukvlak van het persblok gemonteerd zijn en de hoekverdraaiingssensor de hoekstand van het persblok

registreert. Verder zijn in het onderzoek de start en stopcommando's van de vormbesturing geregistreerd.'

## 2.2. Kenmerken vormbakpers proefbedrijf

Alle beschreven metingen die in dit artikel gepresenteerd worden zijn in 2004 uitgevoerd bij eenzelfde bedrijf. Het betreft hier een bedrijf dat straatsteenbakstenen produceert met een 18 baks vormbandpers van de firma De Boer te Nijmegen. De vormbakpers is uitgevoerd met een hydraulische persblok. De aanwezige geavanceerde persbesturing maakt het mogelijk snel de wijze van persen aan te passen d.m.v. aanpassing van de persparameters. De volgende persinstellingen zijn gewijzigd tijdens de proeven:

- Perstempo (van 20 tot 29 slagen per minuut);
- Positie persblok onder (van 12 tot 40 graden, ODP);
- Positie persblok boven ( van 30 tot 48 graden, BDP).

Wat met perstempo bedoeld wordt zal voor zich spreken. De beide andere instelmogelijkheden behoeven wellicht enige toelichting.

De positie van het persblok wordt aangegeven in graden hoekverdraaiing van de as van het persblok. In theorie staat het persblok in zijn meest extreme stand bovenop de vormband wanneer deze waarde op 0° staat ingesteld. In de praktijk wordt deze waarde begrensd op 2 ° volgens informatie van machinefabriek De Boer. Onder normale omstandigheden staat deze waarde bij het proefbedrijf op 26° of 24°.

Het persblok staat volledig open wanneer de stand "persblok boven" ingesteld staat op 48°. In deze stand is de opening van het persblok in zijn bovenste stand maximaal. Onder normale omstandigheden staat deze waarde bij het proefbedrijf op 48°, wat inhoudt dat het persblok maximaal openstaat in zijn bovenste stand.

Naast de vermelde instelmogelijkheden zijn er instellingen mogelijk die niet benut zijn tijdens de proeven. Het betreft hier de volgende instelmogelijkheden:

- Afbouwsnelheid hoog/laag (normale instelling 300 °/sec);
- Opbouwsnelheid hoog/laag (normale instelling 300 °/sec);
- Opbouwsnelheid hoog/laag (normale instelling 200 °/sec);
- Snelheid persblok omlaag (normale instelling 250 °/sec);
- Tijd persblok bovenin;
- Tijd persblok onderin;
- Tijd persblok onderin tot start vormband;
- Tijd verschil start persblok en start vormband.

Tijdens de presentatie van de meetgegevens wordt de persinstelling veelal verkort weergegeven. Bij de grafieken staat bijvoorbeeld (48/24-26). Het eerste getal 48 geeft aan op welke stand het persblok staat ingesteld in zijn bovenste stand (maximaal open) in graden hoekenverdraaiing. Het tweede getal 24 geeft zijn onderste stand aan. Na het streepje staat het getal dat het perstempo aangeeft, te weten 26 slagen per minuut.

### 3. Hoog frequent meettechniek

#### 3.1 Registratie

Om kleidrukmetingen te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk de beschikking te hebben over een voldoende snel data-acquisitiesysteem. Aangezien bekend is dat er snelle signaalwisselingen zouden plaatsvinden, was het van belang dat dit systeem sneller zou zijn dan de snelheid waarmee het signaal zou wisselen. Aan dit systeem zijn een aantal eisen gesteld, te weten:

- Voldoende hoge sample-frequentie (minimaal 1000 scans per seconde).
- Geschikt voor verschillende signalen (4-20mA ; -5 tot +5volt).
- Meetdata geschikt voor verwerking in Microsoft Excel.
- Transportabel systeem (geschikt voor het meten op locatie).
- Voldoende nauwkeurig.

Op basis van de gestelde eisen is er destijds gekozen voor een systeem dat werkt met een laptopcomputer en een data-acquisitiekast die aangesloten wordt op de computer via een zogenaamd PCMCIA-interface, zie foto 2. De meetdata van een meetrun komt direct beschikbaar in een Excel-worksheet en kan desgewenst gelijk bewerkt worden. Op de hardware kunnen op verschillende ingangen de meetsignalen aangesloten worden.

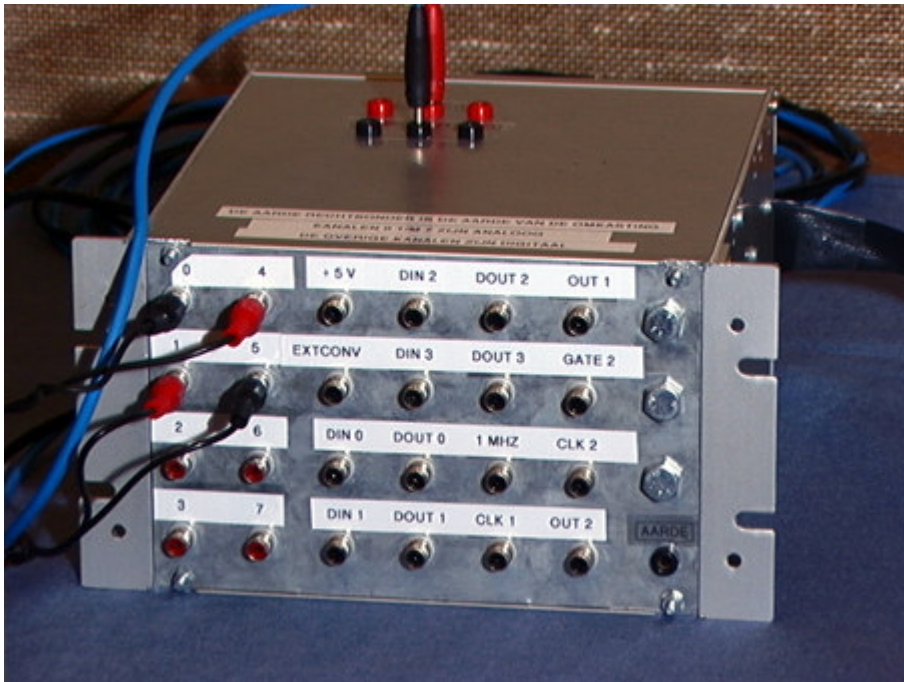


Foto 1: Signaalaansluitingen hoog frequent (HF) data-acquisitiesysteem.

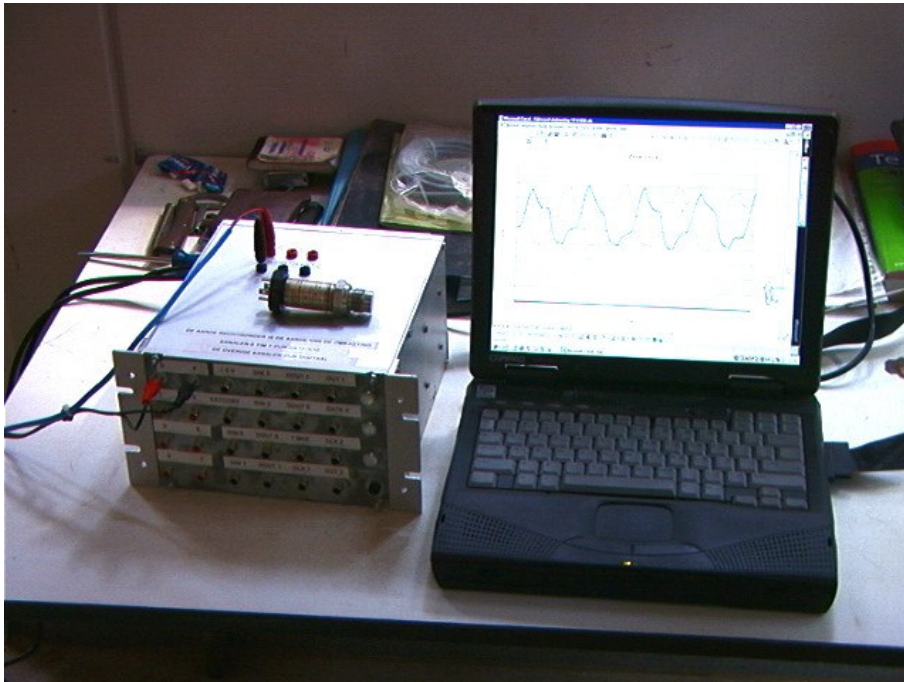


Foto 2: Meetopstelling.

### 3.2 Druksensoren

Om persdrukmetingen te kunnen uitvoeren zijn er diverse drukmeters aangeschaft. Op basis van ervaringen uit vorige projecten is er gekozen voor zogenaamde gesealde druksensoren. Deze sensoren geven op een indirecte manier de druk door aan de eigenlijke druksensor. Het meetoppervlak is voorzien van een vlak kunststof membraan. Directe druksensoren zijn niet geschikt voor metingen in kleimassa's omdat klei een te stroperig karakter heeft. Hierdoor ontstaat een drukval in de meetsensor zelf die daardoor een onnauwkeurig (te lage waarde) meetwaarde afgeeft. Naast het registreren van druk is het van belang dat de sensor voldoende snel reageert op drukwisselingen. Het TCKI heeft als eis gesteld dat de sensoren over een reactiesnelheid van kleiner dan 1 msec beschikken.

Van tevoren was het niet geheel duidelijk welke drukken gehaald zouden worden. Om die reden zijn er eerst oriënterende metingen uitgevoerd o.a. om vast te stellen in welk drukbereik de sensoren zouden moeten werken. Na de eerste proeven zijn drie druksensoren aangeschaft in het drukbereik van 1 tot 5 bar om gelijktijdig meerdere druksignalen te kunnen vastleggen. Om hogere drukken te kunnen registreren voor bijvoorbeeld in strengperskoppen heeft het TCKI de beschikking over een druksensor in het bereik van 0 tot 20 bar. In foto 3 is een afbeelding te zien van de toegepaste druksensor.



Foto 3: Druksensor.

### 3.3 Hoekverdraaiingssensor

Voor een goede analyse van de druksignalen is het van belang te weten in welke stand het persblok staat. Hiervoor is een registratie van de hoek van het persblok voldoende. Om de hoekverdraaiing van de as van het persblok te kunnen registreren is een hoekverdraaiingssensor aangeschaft (zie foto 4). De Sensor heeft de volgende kenmerken.

Draibereik	0 – 350 °
Reactiesnelheid	minder dan 1 msec
Uitgangssignaal	4-20 mA
Voeding	24 volt



Foto 4: Hoekverdraaiingssensor.

### 3. Meetmethode

#### 3.1 Druksensoren in persblok

De druk die een druksensor onder een persblok meet is afhankelijk van de locatie van de druksensor. Hoe groot deze afhankelijkheid is is niet onderzocht in dit project, maar redelijkerwijs is te verwachten dat dit effect een rol speelt. Omdat voor het project maximaal drie druksensoren ingezet konden worden is de 18 baks vormbakpers virtueel opgedeeld in twee gelijke delen. De scheiding tussen de beide delen is precies in het midden. De drie beschikbare sensoren zijn in het rechterdeel van het persblok geplaatst (kijkende naar het persblok). Het rechter deel van het persblok is globaal weer opgedeeld in een rechter, midden en linker deel. In foto 5 is een foto van de meetopstelling weergegeven.

# Druksensoren

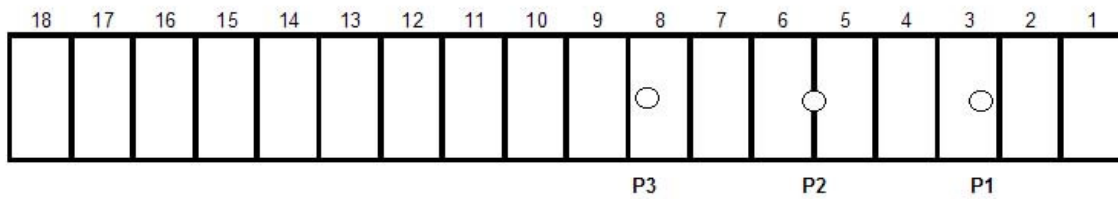


Foto 5: Persblok met meetsensoren.

De druksensoren zijn op de foto niet zichtbaar. Achter de openstaande luiken op de bovenplaat van het persblok zijn op drie verschillende plaatsen tapgaten aangebracht waarin de druksensoren geschroefd zitten. De weergegeven nummers komen overeen met de codering die gebruikt is in de meetresultaten, te weten P1, P2 en P3.

Ten opzichte van de geperste stenen zijn de druksensoren op de volgende wijze geplaatst.

Figuur 1: Plaasting druksensoren ten opzichte van de vormbak.

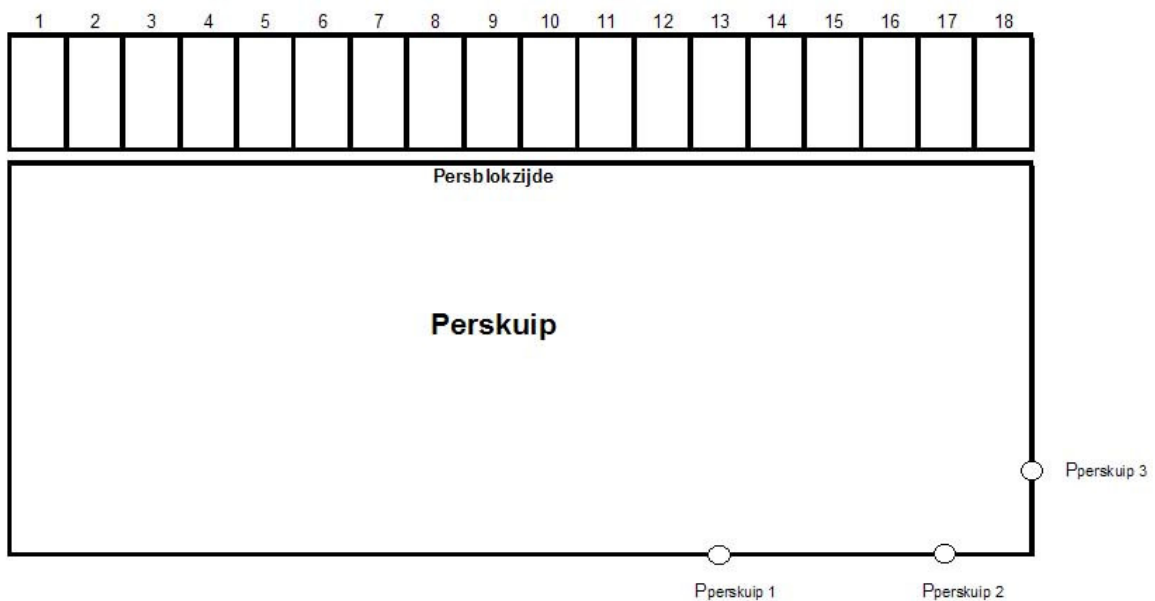


Op het schema is te zien dat de sensoren niet precies in het midden geplaatst is. Voor P2 geldt in principe dat deze gepositioneerd is boven steen 5 in de buurt van de scheiding tussen steen 5 en 6.

### 3.2 Druksensoren in perskuip

Naast druksensoren in het persblok zijn er bij verschillende proeven metingen gedaan waarbij de druk onderin de perskuip geregistreerd is. De gebruikte druksensoren zijn onderin de perskuip geplaatst volgens het onderstaande schema van figuur 2.

Figuur 2: Plaatsing druksensoren in de perskuip.



### 3.3 Hoekverdraaiingsopnemer stand persblok

Om vast te kunnen stellen in welke stand het persblok staat is op de plek waar de De Boer encoder geplaatst is een extra hoekverdraaiingsopnemer geplaatst. In foto 6 is een foto weergegeven van de opstelling.

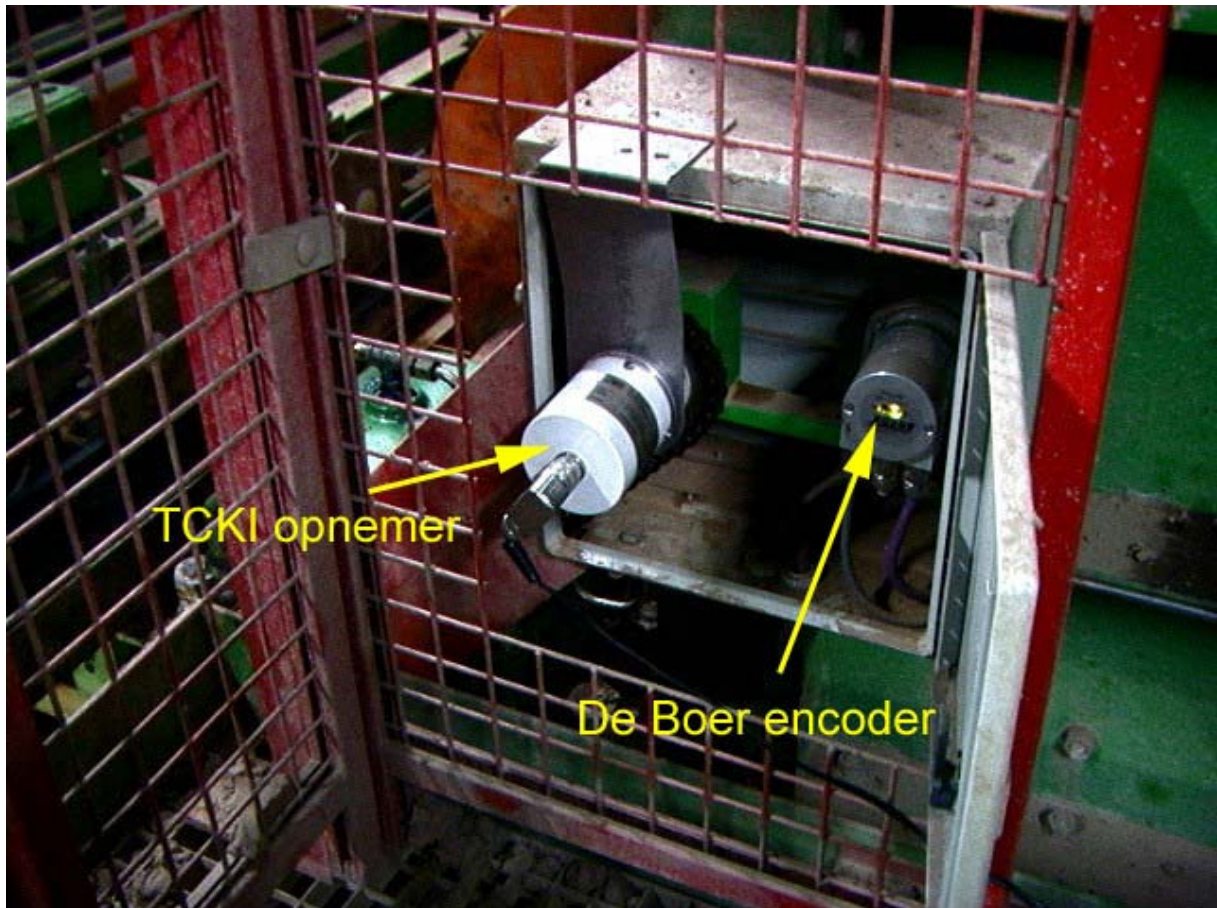


Foto 6: Opstelling hoekverdraaiingsmeting stand persblok.

### 3.3 Getapte signalen

Naast de beschreven signalen zijn er een aantal signalen overgenomen uit de besturingskast van de pers. Het betreft hier de volgende signalen:

- Start-stop van de vormband
- Stand linker staande-as van de perskuip
- Stand rechter staande-as van de perskuip

De start-stop van de vormband geeft een “hoog” signaal wanneer de vormband in beweging is. Er wordt een “laag” signaal geregistreerd wanneer de vormband stil staat. Het is wellicht goed te vermelden dat de registreerde signalen stuursignalen zijn van de persbesturing. Het is geen directe meting van de beweging van de vormband zelf.

Voor zowel de linker als de rechter staande as van de perskuip is een positieopnemer geplaatst. Telkens wanneer een as voorbij deze inductieve opnemer passeert wordt gedurende zeer korte tijd een puls door de besturing gegenereerd. Voor beide assen is dit signaal ter beschikking gesteld aan het TCKI.

### 3.6 Kwaliteitsonderzoeken

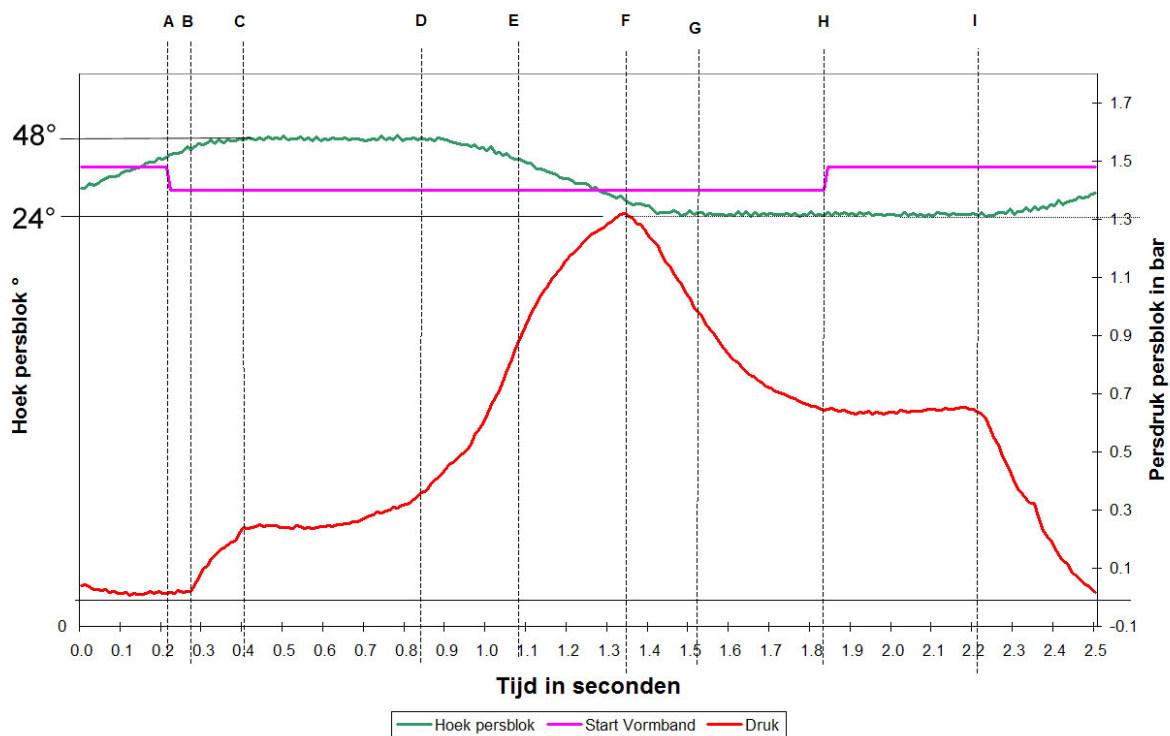
Om de relatie te kunnen leggen tussen persinstelling en productkwaliteit zijn er bij de laatste meetdag van de verschillende geperste producten monsters genomen. Bij elke persinstelling en bijbehorende meetrun zijn de kooinummers genoteerd waarin de betreffende producten gedroogd werden. Nadat de producten gebakken zijn in de tunneloven is er een regulier kwaliteitsonderzoek uitgevoerd op de manier waarop het bedrijf dat met al zijn producten doet. Het onderzoek is door medewerkers van het bedrijf zelf uitgevoerd. De volgende kwaliteitsparameters zijn onderzocht:

- Droogkrimp lengte, breedte, hoogte ;
- Bakkrimp lengte, breedte, hoogte;
- Totaalkrimp lengte, breedte, hoogte;
- Schijnbare volumieke massa;
- Wateropname;
- Buigtreksterkte ;
- Uiterlijke kenmerken

## 4. MEETRESULTATEN EN BESCHOUWING

### 4.1 Basiskenmerken persslag

In onderstaande figuur 4 zijn van één volledige persslag het drukverloop in het persblok, de hoekverdraaiing van het persblok en de start-stop commando's voor de vormband weergegeven.



Figuur 4: Kenmerken persslag

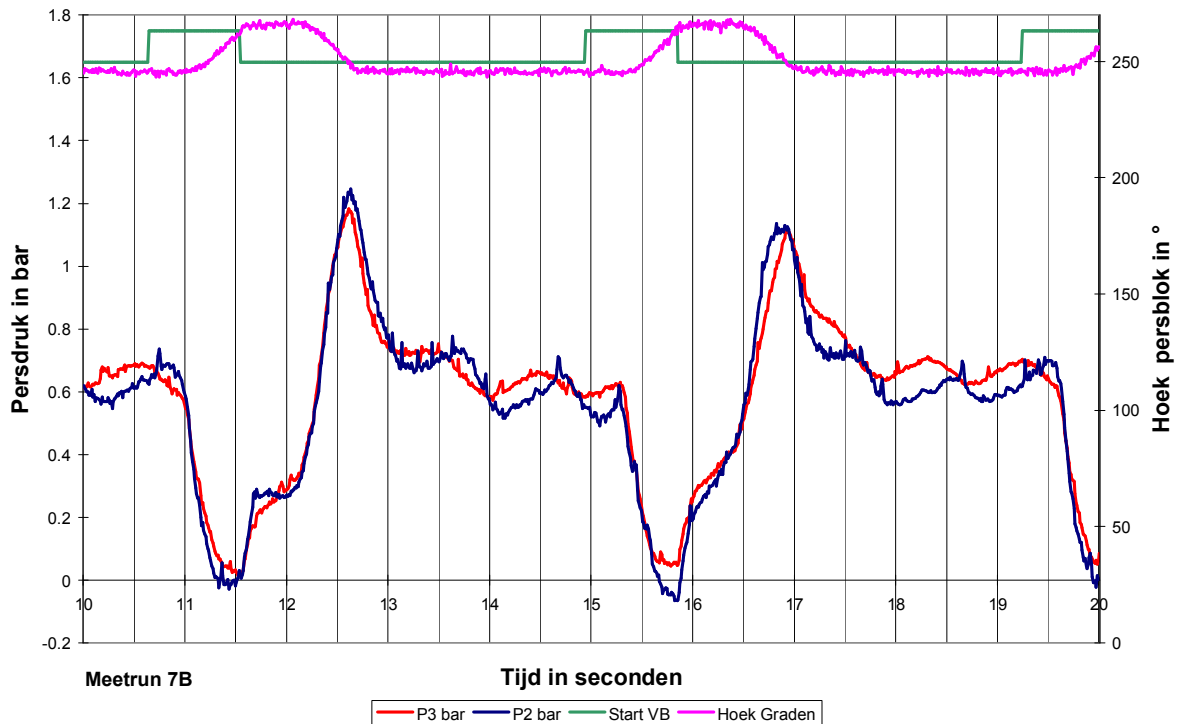
Op punt A in de grafiek stopt de vormband met bewegen en gaat het persblok nog omhoog. Op punt B stroomt er klei in de vormbak en persblok, waardoor de druk gaat toenemen. Op punt C staat het persblok stil in zijn bovenste dode punt (BDP). In dit gedeelte van de cyclus stroomt de klei onder invloed van de voordruk in de perskuip de bakjes in. De voordruk wordt gegenereerd door de hoogte van de kleikolom en stuwings van de draaiende vleugels die aan de staande assen bevestigd zitten. Op punt D neemt de persdruk sterk toe onder invloed van

het persblok die op dat moment start met de persslag. Op punt E is een buigpunt te zien in de drukcurven. Dit is het punt waarop de drukstijging het snelst gaat en het persblok zijn maximale snelheid bereikt. Op punt F wordt de maximale persdruk gehaald. Dat is tevens het moment dat de snelheid van het persblok begint af te nemen. De maximale persdruk wordt dus niet gehaald op het moment dat het persblok onderin staat, maar net daarvoor. Op punt G staat het persblok in zijn onderste dode punt (ODP). Op dat moment vereffent de druk zich en gaat relatief langzaam naar een evenwichtdruk, die sterk bepaald wordt door de voordruk in perskuip. Op punt H start de vormband met bewegen. Op punt I start het persblok met de opwaartse beweging. Op dat moment daalt de druk sterk.

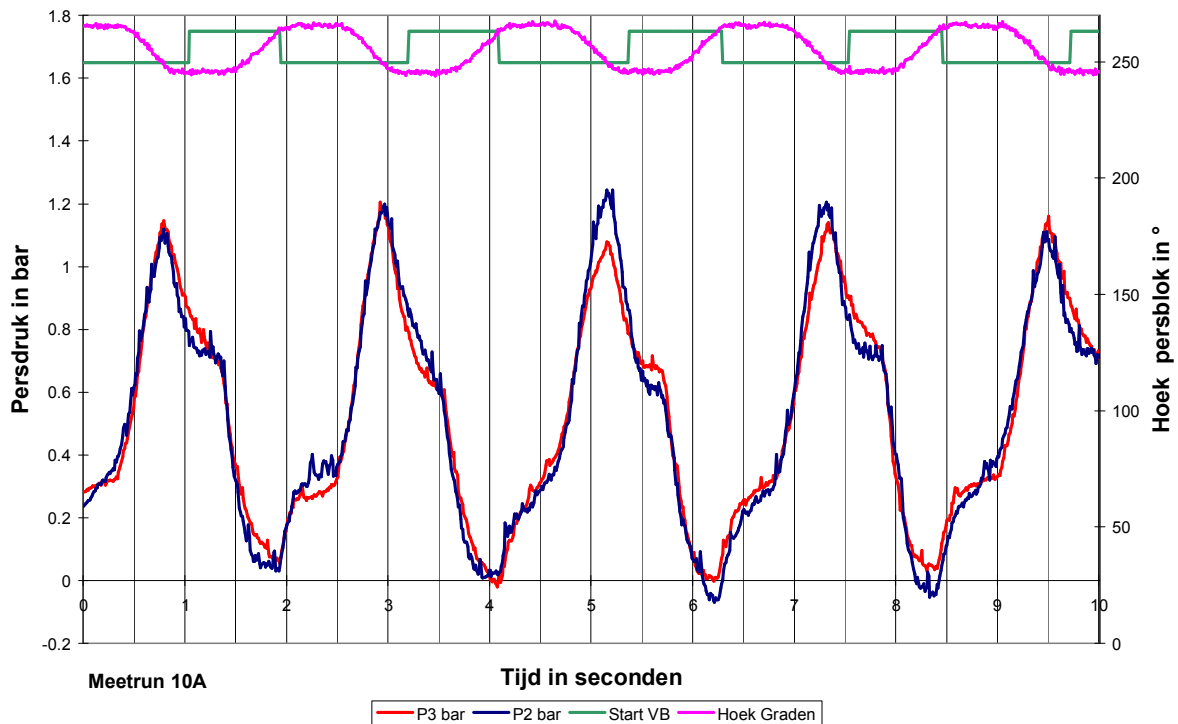
#### 4.1 Perstempo wisselingen

Er zijn verschillende registraties uitgevoerd waarbij het perstempo in stapjes is opgevoerd van 14 naar 29 slagen per minuut. In de figuren 5 en 6 zijn de resultaten gepresenteerd van twee registraties bij de meeste extreme perstempi.

Figuur 5: Persdrukken, persblokpositie en start-stop vormband (48/24-14).



Figuur 6: Persdrukken, persblokpositie en start-stop vormband (48/24-28).



Figuur 5 laat de perscurve zien bij een tempo van 14 slagen/min. Figuur 6 laat de registratie zien bij 28 slagen/min.

Vergelijk laat zien dat het eerste gedeelte van de curve voor beide nagenoeg gelijk is en dat na de piekdruk er verschillen ontstaan. De wachttijd van het persblok bevindt zich in de periode dat de druk zich kan vereffenen na het behalen van het maximum. Op het moment dat het persblok weer naar beneden beweegt zijn er geen verschillen.

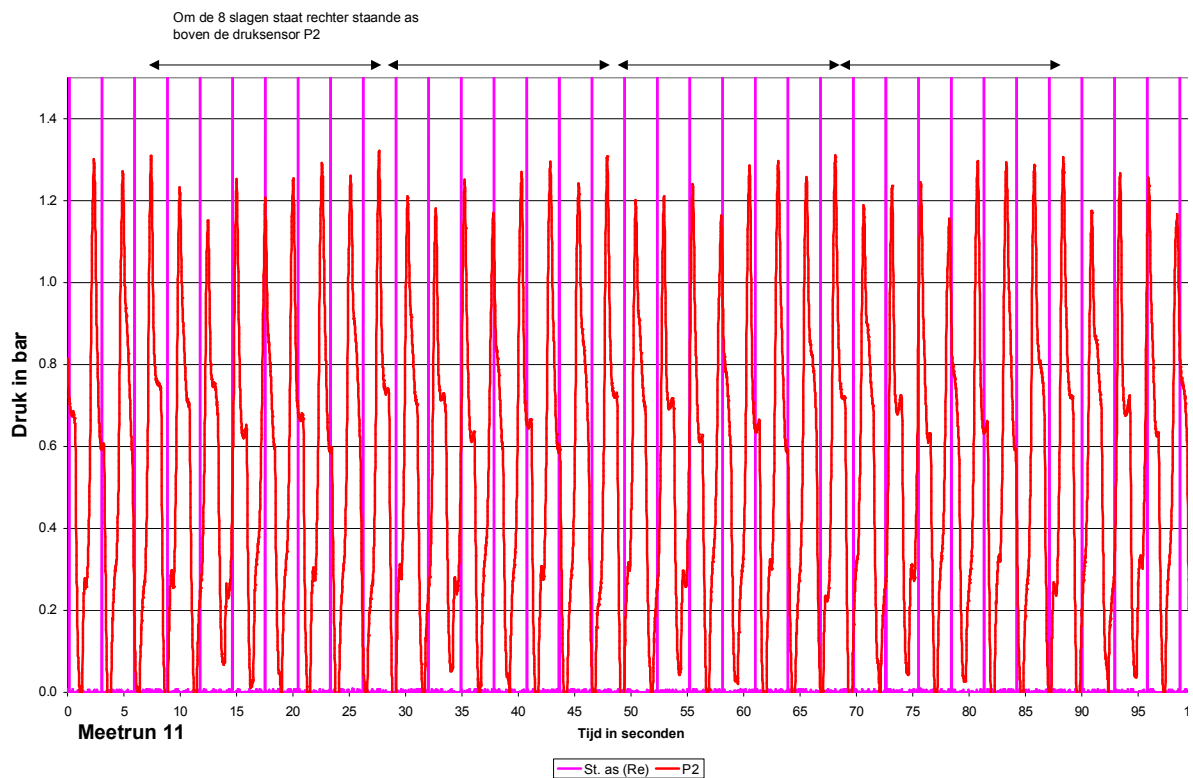
De curve bij laag tempo laat duidelijk zien dat in de drukvereffeningsperiode sterke drukschommelingen gemeten zijn. Deze worden veroorzaakt door drukwisselingen in de perskuip. Omdat het persblok de weg niet volledig afsluit naar de perskuip hebben drukwisselingen daar invloed.

Uitgebreide analyse van verschillende registraties heeft geleerd dat het perstempo geen invloed heeft op de piekdruk. Dit is een specifiek voordeel van een hydraulische persblok besturing. Omdat de besturing van het persblok de snelheid van de opwaartse en neerwaartse beweging gelijk houdt bij verschillende perstempen blijft de drukcurve ongewijzigd in dat gedeelte. Verschillen in perstempo worden gerealiseerd door de wachttijden tussen de verschillende slagen te variëren. Bij een mechanisch persblok waarbij het persblok m.b.v. een mechaniek aangedreven wordt zullen perstempowisselingen naar verwachting effect hebben op de opwaartse en neerwaartse snelheid en derhalve ook op de te bereiken piekdrukken. In dat geval zal de slaglengte eveneens gewijzigd moeten worden om de piekdrukvariaties te compenseren.

#### 4.2 Piekdruk wisselingen

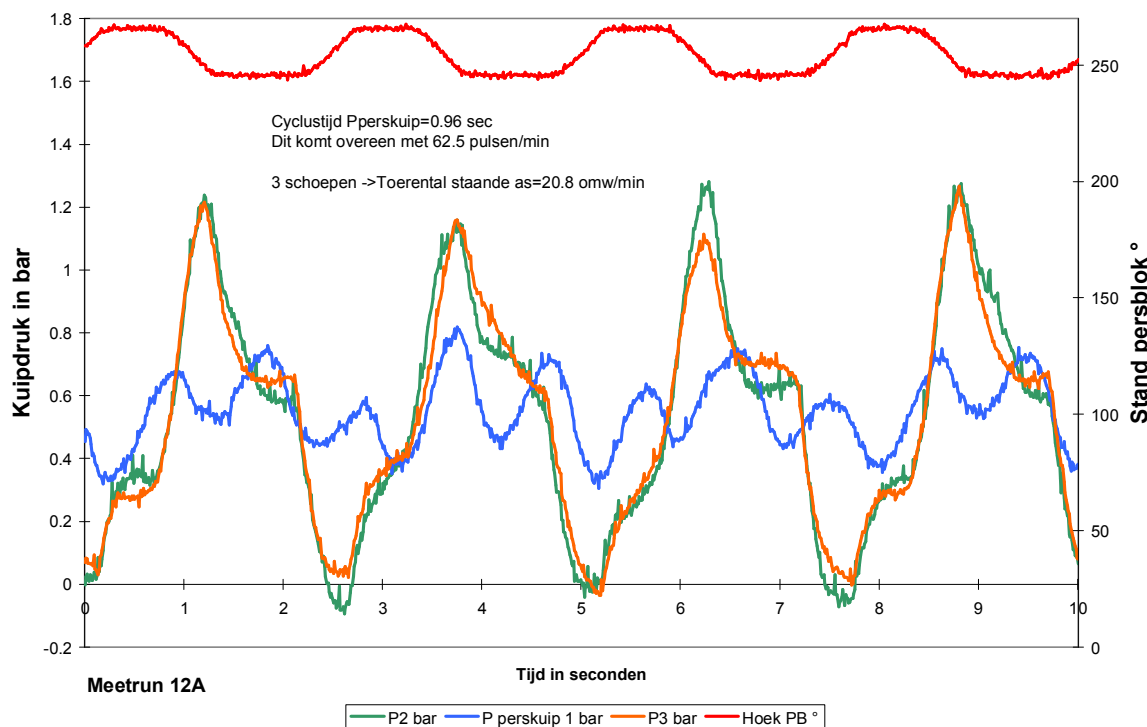
Bij alle registraties is naar voren gekomen dat de behaalde piekdrukken niet constant zijn. Er is sprake van een geringe spreiding (zie figuur 7). Tevens is er sprake van een bepaalde piekdrukcyclus. Deze cyclus wordt veroorzaakt door drukwisselingen in de perskuip.

Figuur 7: Piekdrukspreiding.



In figuur 7 is de drukcurve van P2 (rood) samen met de positie-indicatie van de rechter staande as van de perskuip weergegeven. Dat zijn de verticale (lila) lijnen die weergeven wanneer de staande as een volledige omwenteling heeft gemaakt. Na bestudering komt naar voren dat om de ca. 8 slagen er sprake is van een maximum in de piekdruk. Hiermee is de invloed van de perskuip aangetoond. De drukversterking wordt veroorzaakt omdat de drijvers in de perskuip zorgen voor drukpulsaties. Op het moment dat er tijdens het vullen van de bakken net een piek is in de voordruk van de perskuip zal een maximum in de piekdruk het gevolg zijn.

Figuur 8: Drukwisselingen onderin perskuip in combinatie met persdrukken.

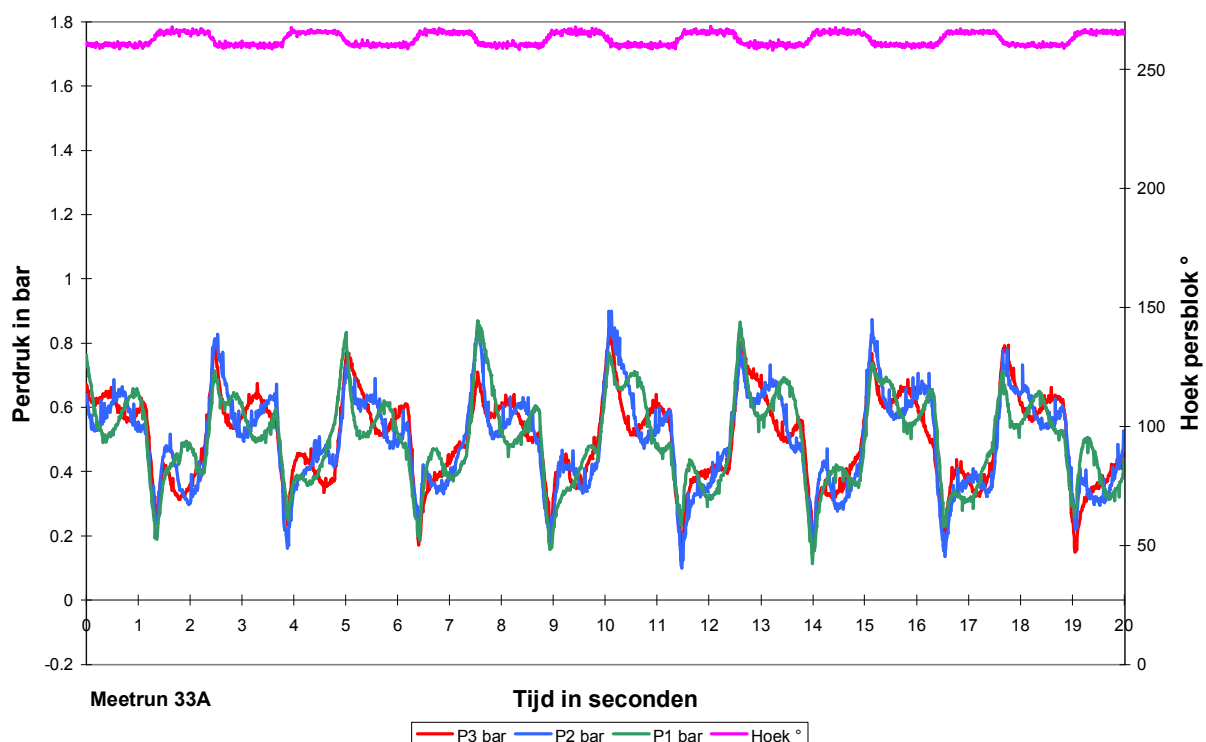


Op basis van de drukcurve is vastgesteld dat de staande assen met 20.8 omw/min draaien. Tevens is vastgesteld dat de pers exact 23.7 slagen per minuut maakt. Aangetoond is dat deze combinatie van tempi precies leidt tot een piekdrukcyclus om de 8 slagen. Dit impliceert dat een andere combinatie van tempi zal leiden tot een ander cyclus, waarin de mate van drukversterking kan variëren.

#### 4.3 Variatie persblok onderin (ODP):

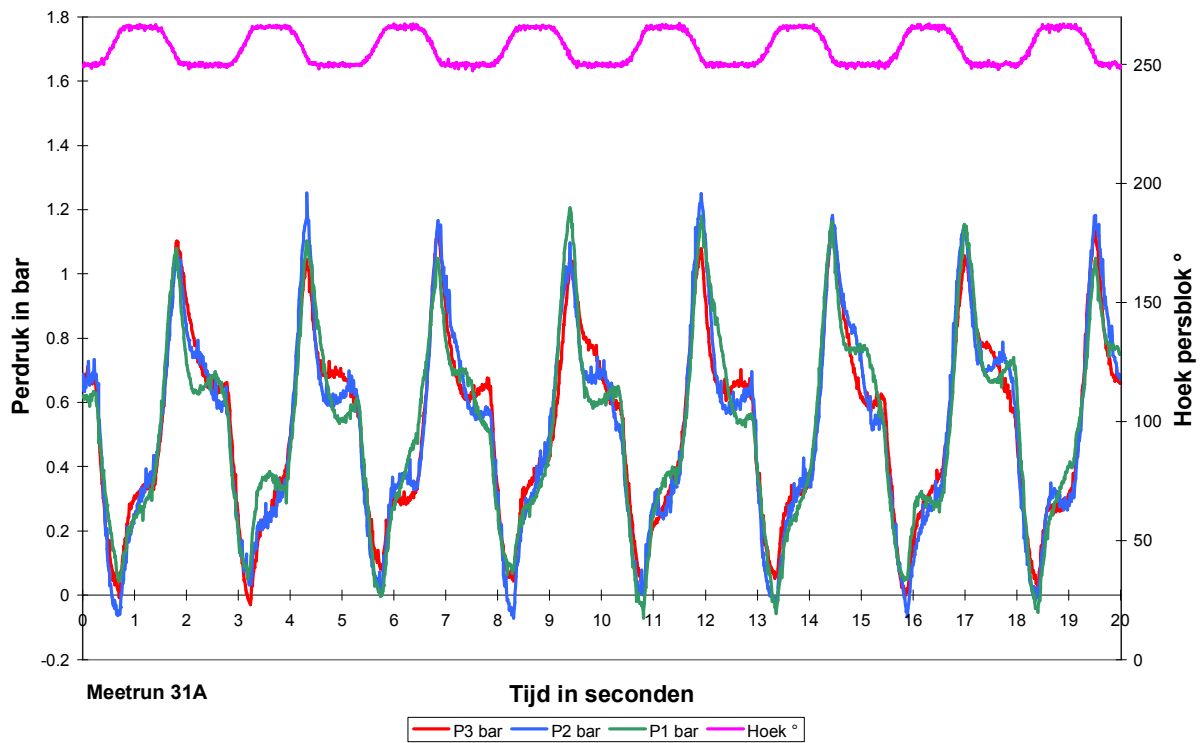
Tijdens diverse experimenten waarin de instelling van het persblok in zijn onderste positie is zijn de drukcurven geregistreerd. Tijdens deze experimenten is de persblokpositie van het bovenste punt niet gewijzigd en ingesteld op de standaardwaarde 48°. Het perstempo is eveneens niet gewijzigd en ingesteld op 24 slagen/min.

Figuur 9: Perscurve bij instelling 48/40-24.



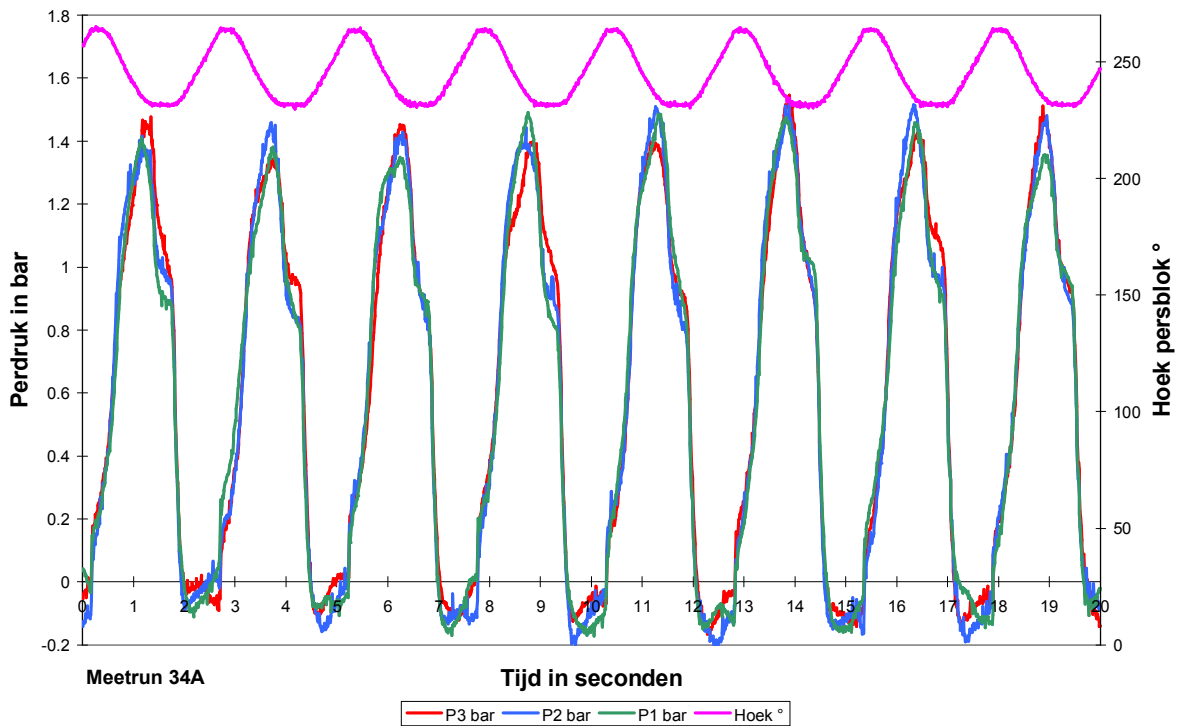
Bij de registratie van de hierboven getoonde curve stond de pers ingesteld met een BDP van 48°, een ODP van 40° en een perstempo van 24 slagen. Verkort is dit weergegeven met 48/40-24. Te zien is dat het persblok minmaal beweegt en dat de piekdrukken maximaal oplopen tot 0.9 bar. De laagste druk die geregistreerd wordt ligt tussen de +0.1 en +0.2 bar. Tevens is te zien dat de drukken niet gelijkmatig verdeeld zijn over het persblok door de verschillen tussen P1, P2 en P3.

Figuur 10: Perscurve bij instelling 48/26-24.



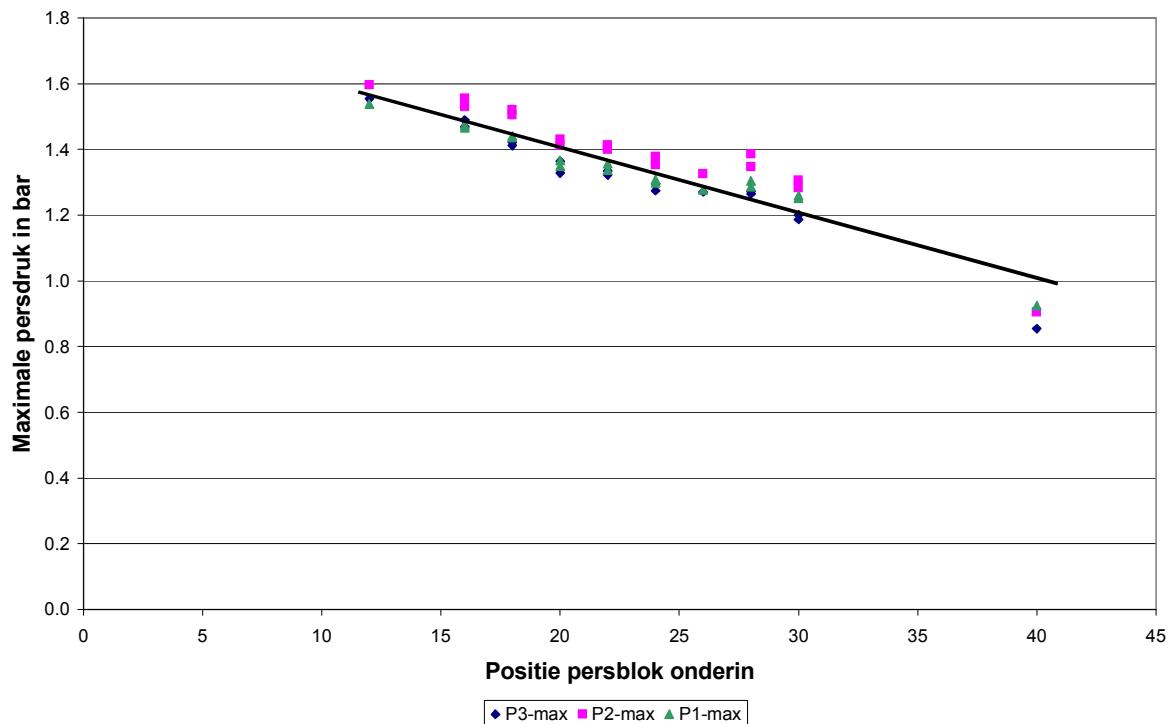
Het persblok maakt in figuur 10 een grotere hoekverdraaiing, waardoor de piekdrukken oplopen tot ca. 1.3 bar. In de grafiek is eveneens te zien dat de minimale drukken aanzienlijk lager liggen dan in figuur 9. Deze variëren rond of net onder het 0 punt. Tevens is wederom te zien dat er verschillen bestaan tussen de drukken P1, P2 en P3.

Figuur 11: Perscurve bij instelling 48/12-24.



Bij de getoonde grafieken is duidelijk waar te nemen dat de persdiepte duidelijk relatie vertoont met de piekdruk. Hoe dieper hoe hoger de druk. Tevens is te zien dat de onderdrukken toenemen bij grotere persdiepte. Een ander effect van vergroting van de persdiepte is het gebrek aan tijd voor stilstand van het persblok. Door de grotere persdiepte en dus de grotere slag is er minder rusttijd. Vooral is dat te merken in het bovenste dode punt. Hier is vrijwel geen sprake meer van een stilstaand persblok en keert de beweging vloeiend om van opwaarts naar neerwaarts. In de drukcurve uit zich dat door het ontbreken van een klein horizontaal gedeelte na de natuurlijke vulling van de bak. Bij het proefbedrijf zijn bij nog meer verschillende instellingen van het onderste dode punt metingen verricht. Hierdoor kan een relatie gelegd worden tussen piekdruk en instelling van het ODP.

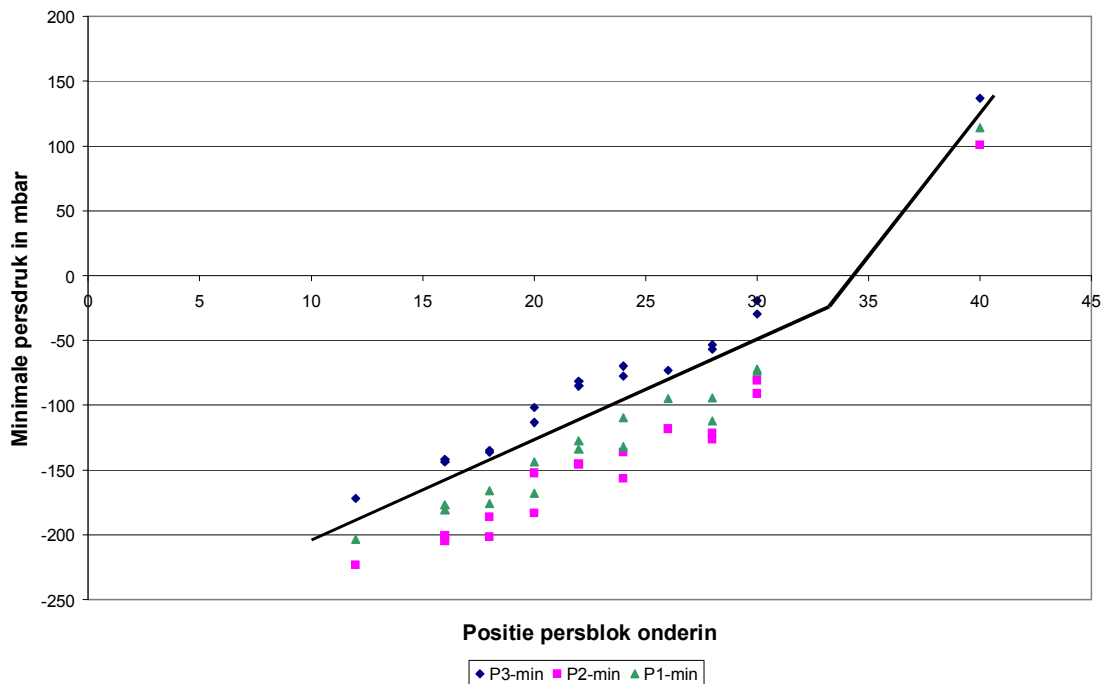
Figuur 12: Piekdrukken in relatie tot instelling positie persblok onderin (BDP = 48).



Hoe dieper het persblok naar beneden gaat hoe hoger de piekdrukken zullen oplopen. Hierbij moet aangetekend worden dat niet alleen de persdiepte van belang is, maar zeker ook de totale hoekvedraaiing (slag) van het persblok die gemaakt wordt. De piekdrukken van figuur 12 zijn allen bepaald bij een BDP van 48°. Verdieping van de slag betekent derhalve tevens dat de slaglengte vergroot wordt.

Tevens is aangetoond dat een diepere slag een vergroting van de onderdruk geeft bij de opwaartse slag. Ook hier speelt de slaglengte een belangrijke rol. In figuur 13 is de relatie tussen minimale druk en variatie van het ODP weergegeven.

Figuur 13: Relatie persblok onderin en maximale onderdruk (BDP=48).

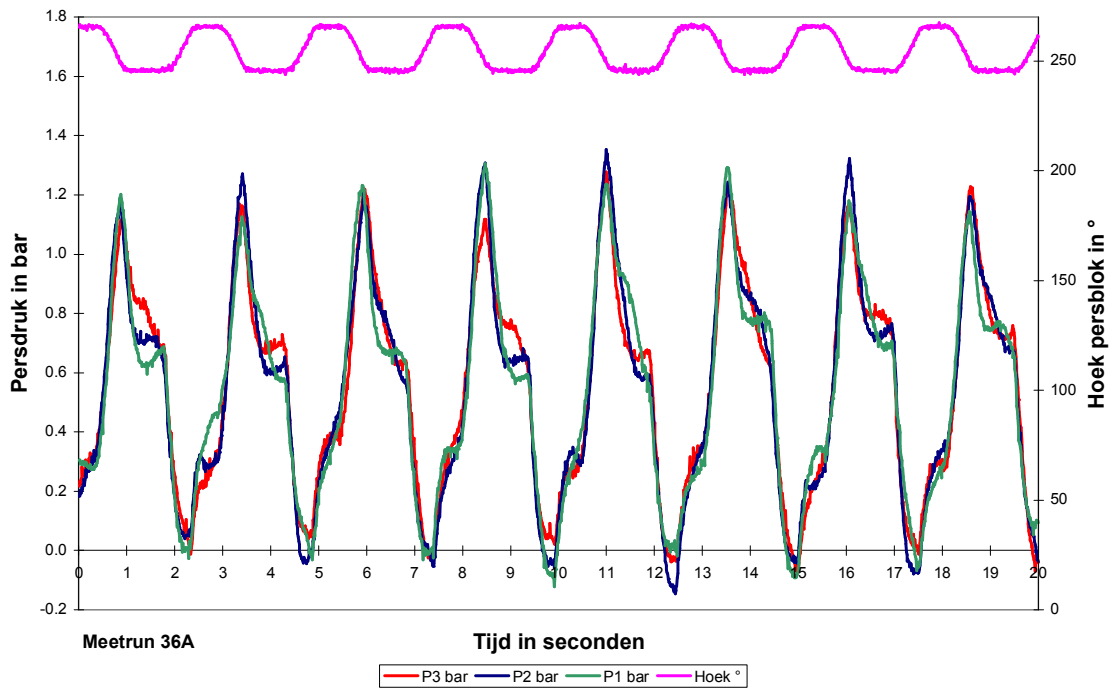


Per graad verstelling van het persblok onderin levert globaal een piekdrukverschil van 0.02 bar op (0.2 bar per 10°). Voor de onderdruk ligt dat iets ingewikkelder door de aanwezigheid van een knikpunt in de buurt van het nulpunt. Wanneer alleen gekeken wordt naar het gedeelte van -200 tot 0 mbar dan kan de volgende vuistregel gehanteerd worden. Per graad verstelling van het ODP verandert de onderdruk 8 mbar. Deze vuistregels gelden alleen bij een instelling van het BDP van 48° (standaardinstelling) en de gegeven pers en grondstoffeneigenschappen.

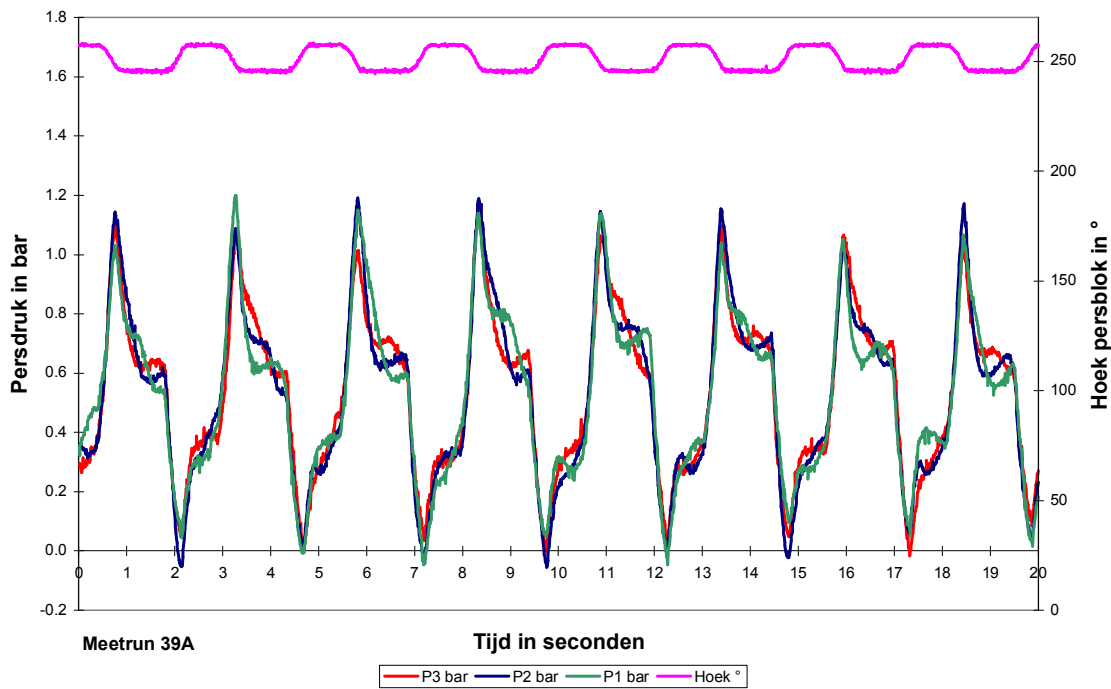
#### 4.4 Variatie persblok bovenin (BDP)

Tijdens meetserie 4 is de instelling voor het onderste dode punt vastgezet op de standaardwaarde van 26°. De verschillen tussen de getoonde grafieken in deze paragraaf worden veroorzaakt door variatie van het bovenste dode punt van het persblok. Een uitzondering hierop is de laatste grafiek hierin is zowel het ODB als het BDP verstelt.

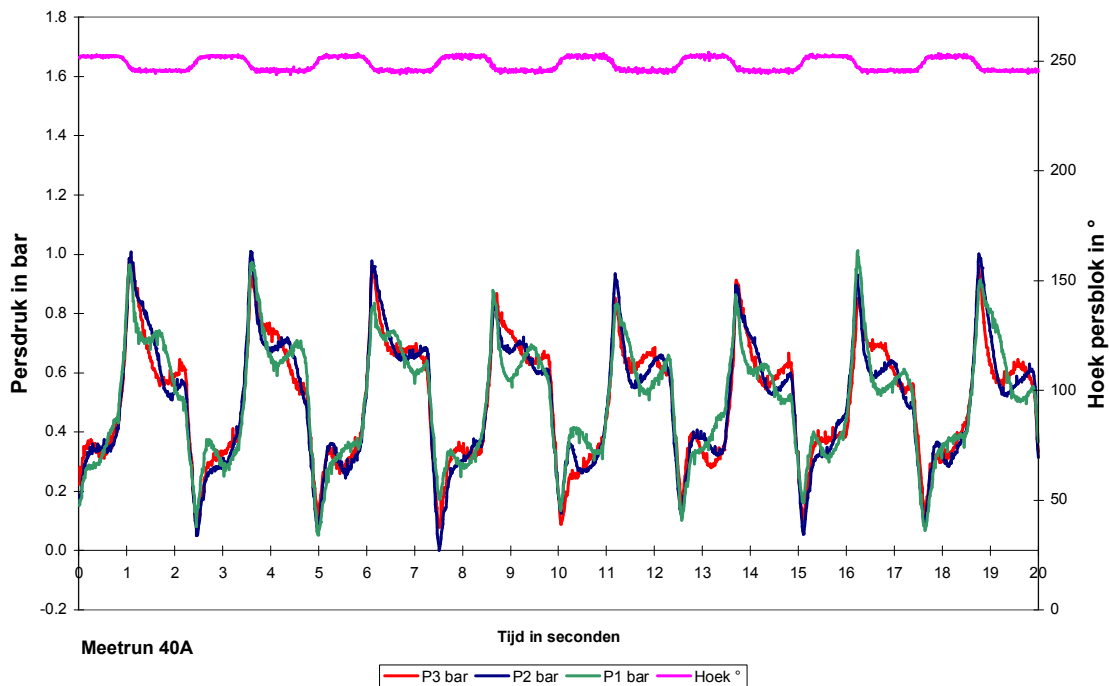
Figuur 14: Perscurve bij instelling 48/26-24.



Figuur 15: Perscurve bij instelling 40/26-24.



Figuur 16: Perscurve bij instelling 35/26-24.

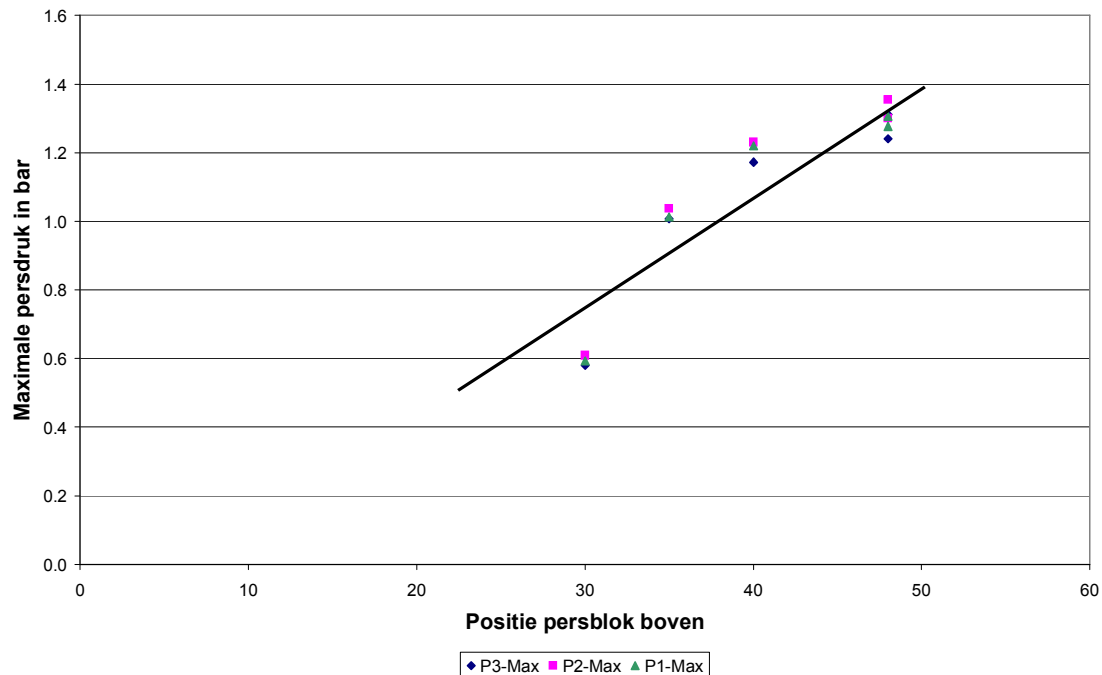


In de getoonde grafieken is te zien de piekdruk lager wordt wanneer het BDP lager ingesteld wordt. Tevens is uit de grafieken af te leiden dat bij een lager BDP de druk waarbij natuurlijke vulling plaatsvindt ook lager wordt. Door de lagere stand is de opening naar de perskuip kleiner en zal de kuipdruk minder toegelaten worden in het persblok. Hierdoor is het aannemelijk dat er minder klei in de bakjes wordt toegelaten wanneer het BDP lager ingesteld wordt.

De piekdruk zal lager worden door de kleinere slag, maar ook door de geringere natuurlijke vulling. Door de kleinere slag wordt meer tijd gecreëerd voor de momenten dat het persblok stilstaat. Hierdoor lijken de curven op perscurven bij lager tempo.

Tijdens diverse experimenten waarin de instelling van het persblok in zijn bovenste positie is gewijzigd zijn de drukcurven geregistreerd. De gemeten piekdrukken hiervan zijn in relatie gebracht met het ingestelde BDP (zie figuur 17).

Figuur 17: Piekdrukken in relatie tot instelling positie persblok bovenin (ODP = 24).



Verstelling van het BDP (bij gelijkblijvend ODP) zorgt ervoor dat de piekdrukken sterk beïnvloed worden. In figuur 17 is de relatie tussen beide weergegeven. Net als bij variatie van het ODP wordt ook hier de slag beïnvloed door verstelling van het BDP en heeft derhalve invloed op de piekdrukken.

Tevens is een duidelijke relatie aangetoond tussen onderdrukken en verstelling van het BDP. Hoe lager het BDP wordt ingesteld hoe minder onderdruk.

#### 4.5 *Constance slaglengte en wisselend ODP*

Wanneer de slaglengte gelijk blijft bij verstelling van het ODP betekent dat automatisch dat het BDP evenredig mee versteld is. Hieruit komt naar voren dat de persdrukken toenemen bij een lager ODP. Uitgaande van de stelling dat de slaglengte zeer bepalend is voor de piekdruk, zal bij een laag ODP er een kleinere opening zijn naar de perskuip dan bij een hoog ODP. Hierdoor kan bij samenpersing de klei minder makkelijk wegstromen, waardoor de druk oploopt.

#### 4.6 *Productkwaliteit en persinstelling*

Door steekproeven te nemen tijdens de verschillende experimenten en vervolgens na het bakken een kwaliteitsonderzoek uit te voeren kan de relatie tussen productkwaliteit en persinstelling worden vastgelegd.

M.b.t. perstempo en kwaliteit kan gesteld worden dat de proef bij 24 slagen/min (standaard) de beste beoordeling behaald heeft. Neemt niet weg dat de overige proeven niet slecht zijn verlopen als het om de productkwaliteit gaat. De bezanding bij hogere tempi zijn lager beoordeeld dan bij 24 slagen/min. Ten aanzien van de droog-, bakrimp en wateropname zijn de verschillen niet groot. De hoogste buigtreksterkte is gehaald bij de proeven van 14 slagen/min.

De proeven met ODP's tussen de 16 en 24 hebben een lagere uiterlijke beoordeling door met name minder goede bezanding. De beste beoordeling hebben de stenen met een ODP

van 26 en 30. De laatste heeft daarbij ook een zeer hoge buigtreksterkte van gemiddeld 13 N/mm<sup>2</sup>. Met betrekking tot droog- en bakrimp zijn de verschillen niet groot. Strikt genomen heeft de proef waarbij het ODP ingesteld stond op 30 een zeer goede totaal beoordeling gekregen. Een ODP van 30 resulteert in een lagere piekdruk dan de standaard instelling van 24 of 26. Dit zal in de praktijk een 0.1 bar lager piekdruk opleveren. Ook de persing met een ODP van 12 lijkt een relatief goede beoordeling te krijgen. Echter afgezien van het feit dat de pers moeite had met deze instelling kan voorzichtig geconcludeerd worden dat er persstructuren waar te nemen zijn tijdens de inspectie van de breukvlakken.

Uit deze proefnemingen komt naar voren dat het voor de kwaliteit van het eindproduct niet wenselijk is met zeer hoge drukken te persen. Bij een instelling van 48/30 wordt een piekdruk gehaald van ca. 1.2 bar. Naar voren komt dat de standaardinstelling met een BDP van 48 de beste visuele beoordeling krijgt.

#### **4.7 Slotbeschouwing**

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de metingen nieuwe inzichten hebben gegeven als het gaat om het persen van vormbakstenen. De meettechniek is goed bruikbaar en ook praktisch uitvoerbaar.

Het is binnen het kader van dit project niet mogelijk geweest alle interessante varianten te meten. De volgende metingen zouden in de toekomst uitgevoerd kunnen worden om meer inzichten te verwerven:

- Relatie persdruk en kleiplasticiteit;
- Relatie persdruk en verschillende typen kleien (Westerwald);
- Relatie persdruk, ODP en BDP bij vaste slaglengte (extremer);
- Meting van de beweging van het vormband (hoekverdraaiing aandrijfjas);
- Meting van de kleiplasticiteit op basis van persdrukken;
- Meerdere drukmeetpunten tegelijk in perskuip.