

Inregelproblemen bij luchtverwarming

door ing. J.C. Phaff en ing. Ph. J. Ham



Samenvatting

Het inregelen van volumestromen bij luchtverwarmingssystemen in woningen blijkt de laatste jaren steeds vaker tot problemen te leiden. Dit komt o.a. doordat i.v.m. het energiebesparingsstreven steeds meer wordt overgegaan op toepassing van ventilatoren met geringe opvoerhoogte. Vooral bij luchtverwarming, waarbij de drukval over de toevoerroosters meestal laag is, leidt dit tot onnauwkeurig inregelen. Inregelfouten kunnen veel sneller tot comfortproblemen leiden dan bij radiatorverwarming, zoals:

- verkeerde warmtedistributie in de woning
- verkeerde luchtbalans in woningen met gebalanceerde ventilatie
- onvoldoende luchtverversing
- onstabiele temperatuurregeling

In deze publikatie wordt het accent gelegd op de problemen die men kan ondervinden bij het inregelen van kleine luchtverwarmingssystemen zoals men deze aantreft in de woningbouw. Met behulp van een computersimulatiemodel zijn berekeningen uitgevoerd om de invloeden van verschillende verstoringen te kunnen evalueren. De onderzochte invloeden zijn:

- de weerstand van de meetkap
- het thermisch effect in verticale kanalen
- drukverschillen t.g.v. de wind
- de ventilatorkarakteristiek

Uit de berekeningen blijkt het volgende:

- Ten gevolge van de weerstand van de meetkap wordt een systematische meetfout geïntroduceerd die, vooral bij lage-druk-systemen, toeneemt bij het meten van grotere volumestromen.
- De thermische druk in een vertikaal kanaal voor luchtverwarming kan 1 à 2 Pa/m bedragen. Bij luchtverwarming in eengezinswoningen met de ketel op zolder betekent dit dat het toevoerkanaal een extra tegendruk van circa 10 Pa kan ondervinden. Bij toepassing van een ventilator met een laag toerental kan dit een aanzienlijke verstoring van de luchtverdeling betekenen. Het inregelen dient daarom bij voorkeur bij de ontwerp-inblaas temperatuur plaats te vinden, waarbij de meetkap moet zijn gecorrigeerd voor deze temperatuur.
- Ten gevolge van de wind ontstaat een kleinere storing van de ingestelde volumestromen bij toepassing van een vlakke ventilatorkarakteristiek dan bij een steile.
- Het inregelen dient plaats te vinden bij windstil weer of zwakke wind, terwijl de ramen, deuren en ventilatiespleten gesloten dienen te zijn.

* Voordracht van de 47e Vakantie Leergang voor warmtetechniek gehouden op 27 augustus 1985

** MT-TNO-Delft afdeling Binnenmilieu

Aan de hand van de meetresultaten in een woning met gebalanceerde ventilatie wordt aangetoond dat de systematische meetfouten, welke bij het gebruik van een meetkap zijn te verwachten, ook in de praktijk worden geconstateerd.

Om het inregelen zonder systematische meetfout te kunnen uitvoeren wordt door MT-TNO, in samenwerking met ACIN B.V. en met financiële ondersteuning van NEOM, een nieuwe meetkap ontwikkeld welke werkt volgens de "nul-methode". Het kenmerkende van deze meetmethode is dat er gebruik gemaakt wordt van een ventilator die een tegendruk opwekt die even groot, maar tegengesteld is aan het drukverlies dat anders over de meetsectie zou optreden. Voor het te onderzoeken luchtrooster betekent dit dat de statische druk bij het rooster met of zonder aanwezigheid van de meetopstelling dezelfde blijft en de te meten lucht-volumestroom dus niet wordt beïnvloed.

Met behulp van het gebruikte simulatiemodel is ook voor een radiatorcircuit nagegaan hoe de gewenste waterverdeling kan worden verstoord door het inregelen achterwege te laten. Met behulp van een dynamisch meerkamer-instalatiemodel wordt aangetoond dat de toeneming van het energieverbruik in een eengezinswoning minder groot is wanneer men rekening houdt met het dynamisch warmtegedrag van de installatie en de bouwkundige constructie

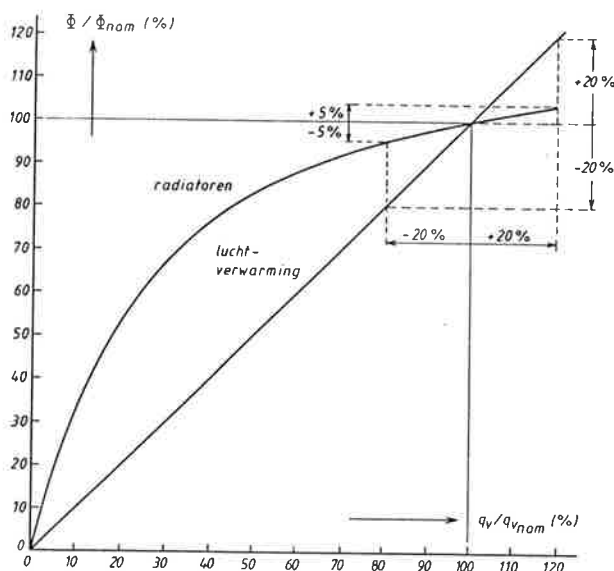
dan wanneer men alleen rekening houdt met statische eigenschappen van het radiatorcircuit.

Inleiding

Het inregelen van volumestromen bij luchtverwarmingssystemen in woningen blijkt de laatste jaren steeds vaker tot problemen te leiden.

Dit komt o.a. doordat i.v.m. het energiebesparingsstreven steeds meer wordt overgegaan op toepassing van ventilatoren met geringe opvoerhoogte. Vooral bij luchtverwarming, waarbij de drukval over de toevoerrooster meestal laag is, leidt dit tot onnauwkeuring inregelen.

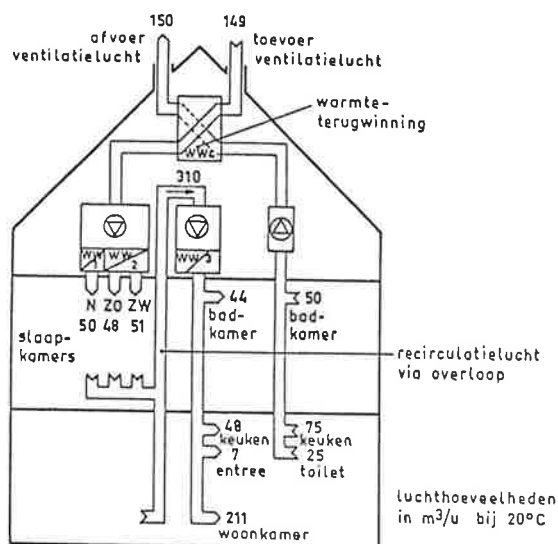
Bij luchtverwarming is bovendien de warmteafgifte aan een vertrek recht evenredig met de volumestroom van de toegevoerde warme lucht. De warmteverdeling in de woning is hierdoor gevoeliger voor het juist inregelen van het luchtsysteem dan dit bij de waterverdeling in een radiatorcircuit het geval is. Dit is in figuur 1 duidelijk gemaakt; als, zowel bij luchtverwarming als bij radiatorenverwarming, de volumestroom 20% te laag is ingesteld dan leidt dit bij luchtverwarming ook tot een vermindering van de warmteafgifte met 20%, maar bij radiatorverwarming slechts met 5%.



Figuur 1: De relatieve verandering van de warmteafgifte bij radiatoren- en luchtverwarming als functie van de relatieve verandering van water- of lucht volumestromen, respectievelijk door een radiator of een luchtrooster.

In zeer luchtdichte en goed geïsoleerde woningen met mechanische luchttoe- en afvoer wordt bij niet goed inregelen niet alleen de warmteverdeling verstoord maar komt tevens de mate van luchtverversing in gevaar. In figuur 2 in een voorbeeld gegeven van het luchttechnisch ontwerp van een dergelijke woning. Vooral in de slaapkamers wordt in dit

geval met weinig toevoerlucht volstaan; zouden hier de ontwerpcondities door onjuist inregelen niet worden gehaald dan komt men al gauw in strijd met de in NEN 1087 hieraan gestelde eis van 1 dm³/s (3.6 m³ per uur) per m² vloeroppervlakte.



Figuur 2: Woning met luchtverwarming in 3 zones met warmteterugwinning.

Het niet goed inregelen van luchtverwarmingssystemen kan ook leiden tot regelproblemen wanneer de toegepaste warmtewisselaars onvoldoende warmte kunnen afgeven bij te laag uitgevallen lucht volumestromen. Een modulerend regelsysteem kan hierdoor pendelverschijnselen gaan vertonen hetgeen leidt tot ongewenste fluctuaties in de temperatuur van de inblaaslucht en tengevolge hiervan tot een onbehaaglijk binnenklimaat.

Uit het bovenstaande blijkt dat het nauwkeurig inregelen bij luchtverwarming essentieel is voor het goed functioneren van het systeem en dat inregel fouten veel sneller tot comfortproblemen leiden dan bij radiatorenverwarming.

Inregelprocedures

Er zijn bij het inregelen twee procedures mogelijk:

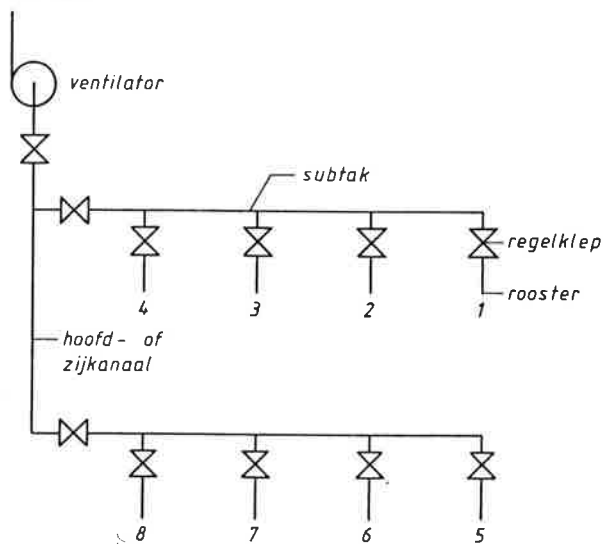
- 1) Met behulp van een leidingberekening worden klepstanden berekend die bij het installeren moeten worden aangehouden. Bij juiste uitvoering van het luchttechnische ontwerp zullen zonder nader inregelproces de te verwachten volumestromen worden gehaald. Het is hierbij vereist dat de kleppen instelbaar zijn en dat o.a. de klepkarakteristieken, de ventilatorkarakteristieken en de werkelijke leidingloop bekend moeten zijn.
- 2) Bij kleine installaties, zoals in woningen worden toegepast, wordt veelal achteraf ingeregeld m.b.v. een lucht-

volumestroommeter. De roosters worden hierbij één voor één op de gewenste waarde ingesteld; doordat de volumestromen elkaar bij wijziging van roosterstanden onderling beïnvloeden is het noodzakelijk deze procedure herhaalde malen uit te voeren totdat de gewenste waarden zijn bereikt.

Bij de eerste genoemde procedure worden hoge eisen gesteld aan de gevolgde leidingberekingsmethode. Toch blijkt achteraf inregelen soms noodzakelijk wanneer b.v. de werkelijke uitvoering van de installatie blijkt af te wijken van het oorspronkelijk ontwerp, waarop de leidingberekening was gebaseerd.

Voor het inregelen van de volumestromen in grotere installaties bestaan meerdere methoden om tot de juiste roosterstanden te komen. In [1] is de meeste toegepaste methode beschreven. Deze methode berust op het feit dat bij verandering van bijvoorbeeld de volumestroom door de ventilator de verhouding tussen de stromen door de verschillende roosters in de meeste kanaalnetten min of meer gelijk blijft.

Bij het inregelen wordt hiervan gebruik gemaakt door telkens de stroom bij een rooster de juiste verhouding te geven ten opzichte van de stroom door een zogenaamd referentierooster. In figuur 3 is schematisch een kanalenstelsel weergegeven; de hoofdtak is direct op de ventilator aangesloten. In dit voorbeeld zijn twee subtakken te onderscheiden, waarin zich de roosters bevinden. Aan het begin van elk aftakkanaal en bij de ventilator moet een regelklep aanwezig zijn.



Figuur 3: Afvoersysteem voor een grote installatie

De volgende procedure wordt vervolgens uitgevoerd:

- 1 Controleer het kanalenstelsel op verstoppingen, lekken en eventueel vergeten bindingen en/of roosters.
- 2 Zet de regelkleppen en rooster geheel open.
- 3 Controleer de werking van de ventilator (blaas-/zuigzijdige, draairichting, stroomsterkte).

- 4 Meet alle volumestromen en druk ze uit in het percentage van de desbetreffende ontwerpwaarde.

- 5 Begin met inregelen in de subtak waarin deze percentages het hoogst zijn.

- 5.1 Het rooster (1) aan het uiteinde wordt nu als referentie genomen. Meet de stroom door rooster (1) en druk het uit in een percentage van de ontwerpwaarde.

Meet de stroom door het naast liggende rooster (2) en druk deze meetwaarde uit in het percentage van zijn eigen ontwerpwaarde. Vergelijk nu het percentage bij rooster (2) met dat van rooster (1).

- 5.2 Stel het rooster (2) nu zo in dat de percentages binnen de tolerantie aan elkaar gelijk zijn.

De verhouding tussen de volumestromen door beide roosters is dan gelijk aan de verhouding tussen de volumestromen volgens het ontwerp.

Bij het inregelen van rooster (2) zal de absolute stroom bij het referentierooster verlopen zodat telkens een nieuwe aflezing van de stroom door het referentierooster nodig is.

- 5.3 Deze procedure wordt voor de roosters (3) en (4) herhaald, waarbij rooster (1) de referentie blijft.

- 6 Punt 5 van deze procedure wordt voor de volgende subtak herhaald.

- 7 Nadat de roosters in alle subtakken zijn ingeregeld wordt de verhouding van de stromen door de subtakken ingeregeld. Hierbij kan een willekeurig, goed te meten referentierooster per subtak worden gekozen.

- 8 Tenslotte wordt de regelklep bij de ventilator ingesteld, waarna in principe alle volumestromen binnen de tolerantie gelijk moeten zijn aan de ontwerpwaarden.

Het voordeel van deze methode is dat elk rooster slechts éénmaal wordt ingesteld.

Daar er telkens op twee punten moet worden gemeten, is het bij deze methode zinvol om over twee volumestroommeters te beschikken die op afstand afleesbaar zijn.

Bij kleine installaties is het in principe ook mogelijk de klepstanden vooraf te berekenen maar veelal is de leidingloop per woning in een serie niet goed reproduceerbaar, b.v. door het gebruik van flexibele leidingen met onbekende weerstand.

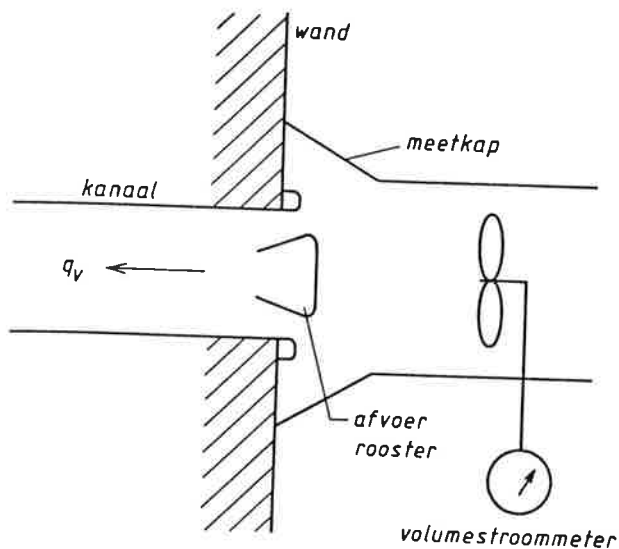
Het inregelen in dit soort kleine installaties kan vanwege het ontbreken van kleppen op de aftakleidingen ook niet volgens een vast recept plaatsvinden. Men is genoodzaakt de kleppen één voor één herhaalde malen bij te stellen om tot de gewenste verdeling te komen.

In het nu volgende zal nader worden ingegaan op de meetproblematiek die men bij deze inregelprocedure kan verwachten.

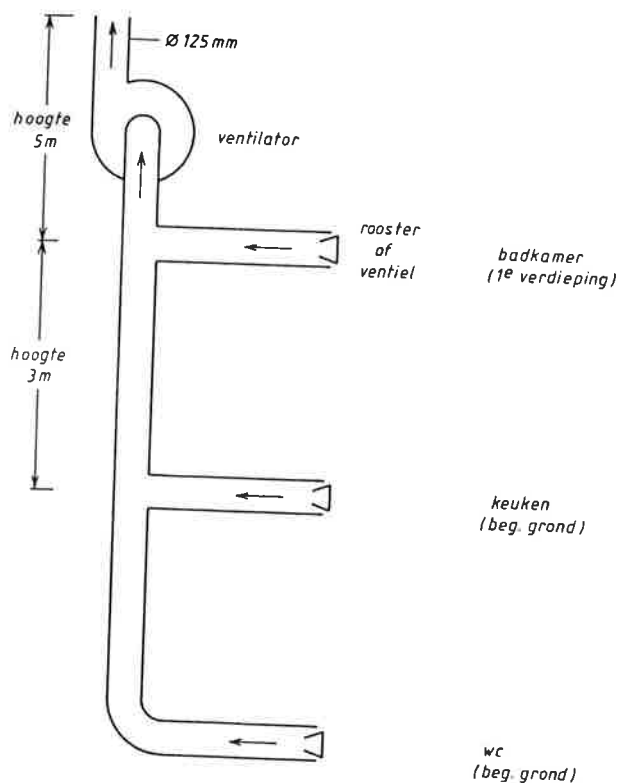
Fouten bij het meten van volumestromen.

Een methode voor het meten van volumestromen waarbij gebruik gemaakt wordt van een meetkap is schematisch weergegeven in figuur 4. Men heeft hierbij te maken met de volgende invloeden:

- de weerstand van de meetkap
- het thermisch effect in verticale kanalen
- drukverschillen t.g.v. de wind
- de ventilatorkarakteristiek



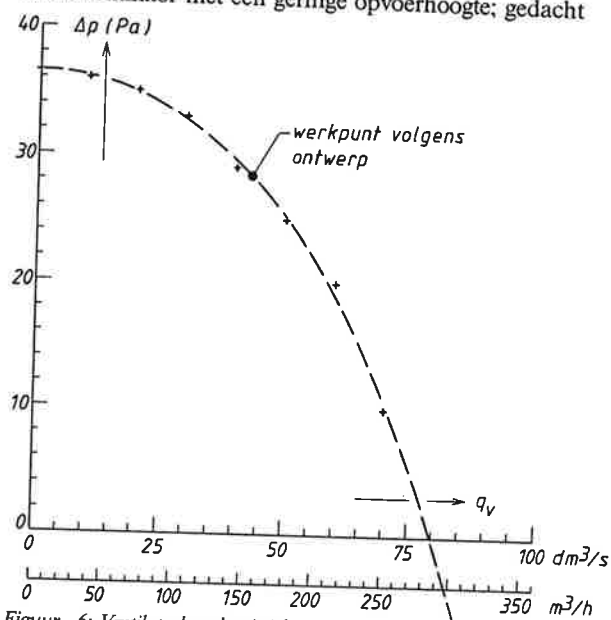
Figuur 4: Principe van een conventionele meetkap



Figuur 5: Afzuigstelsel voor een eengezinswoning

Deze effecten zullen worden beschouwd aan de hand van de werking van een eenvoudig luchtkanalsysteem voor de afvoer van lucht uit een drietal vertrekken in een woning (zie figuur 5). De waarden voor de volumestromen die in de navolgende figuren zijn vermeld, zijn door berekening verkregen. Hierbij is gebruik gemaakt van een computersimulatiemodel waarmee niet alleen vanuit een installatieontwerp de klepstanden kunnen worden berekend maar waarmee ook bij willekeurige klepstanden of andere verstoringen de optredende drukniveaus en volumestromen in het leidingnet kunnen worden berekend.

In figuur 6 is de ventilatorkarakteristiek weergegeven waarvan bij de berekeningen wordt uitgegaan. Het betreft een afvoerventilator met een geringe opvoerhoogte; gedacht



Figuur 6: Ventilatorkarakteristiek

moet worden aan een laagtoerige ventilator. In figuur 7 zijn de optredende statische drukniveaus weergegeven welke te verwachten zijn onder de ontwerprichties bij de aangegeven afvoerluchtvolumestromen per vertrek.

Invloed van de weerstand van de meetkap.

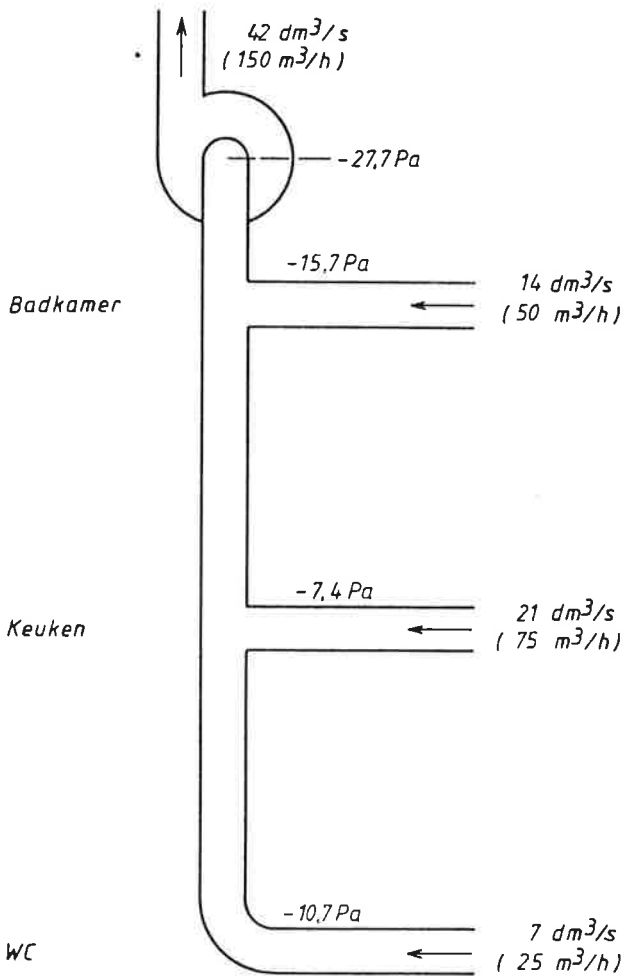
In het volgende voorbeeld wordt aangegeven welke situatie te verwachten valt indien op de als inregelprocedure 2 beschreven wijze wordt ingeregeld.

Gaat men ervan uit dat de in te regelen installatie wordt aangetroffen met geheel geopende afvoerroosters, dan ontstaat de situatie zoals is weergegeven in figuur 8.

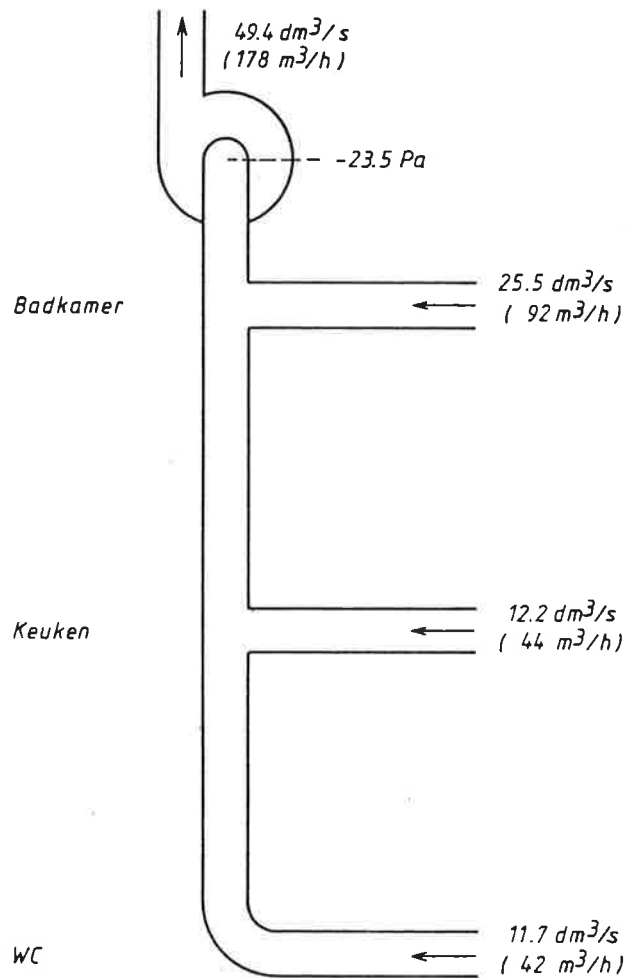
Bij de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat een meetkap wordt gebruikt waarmee de roosters één voor één, herhaalde malen, worden ingesteld op de gewenste waarden die vermeld staan in figuur 7.

De weerstandskarakteristiek van de meetkap is weergegeven in figuur 9; bij toenemende volumestroom heeft men te maken met een groter drukverlies over de meetkap en dus met een grotere beïnvloeding van de in te stellen luchtvolumestroom.

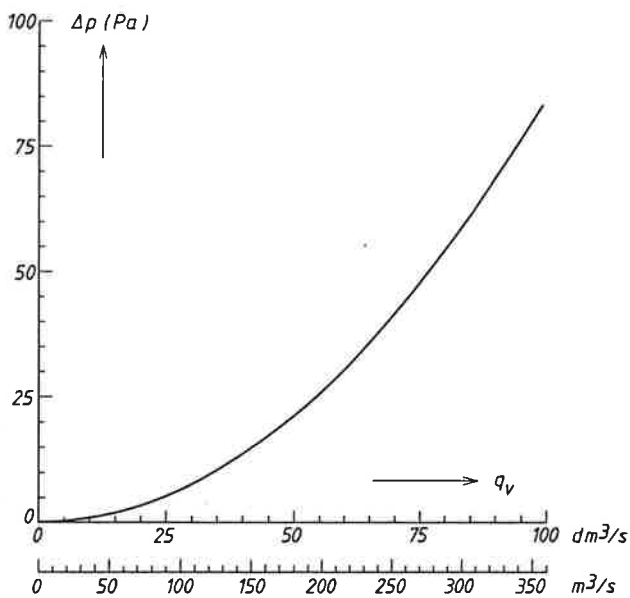
Wanneer de inregelprocedure is beëindigd blijkt overeen-



Figuur 7: Ontwerpcondities voor een lage-druk-afvoersysteem



Figuur 8: Afvoersysteem met geheel geopende ventielen



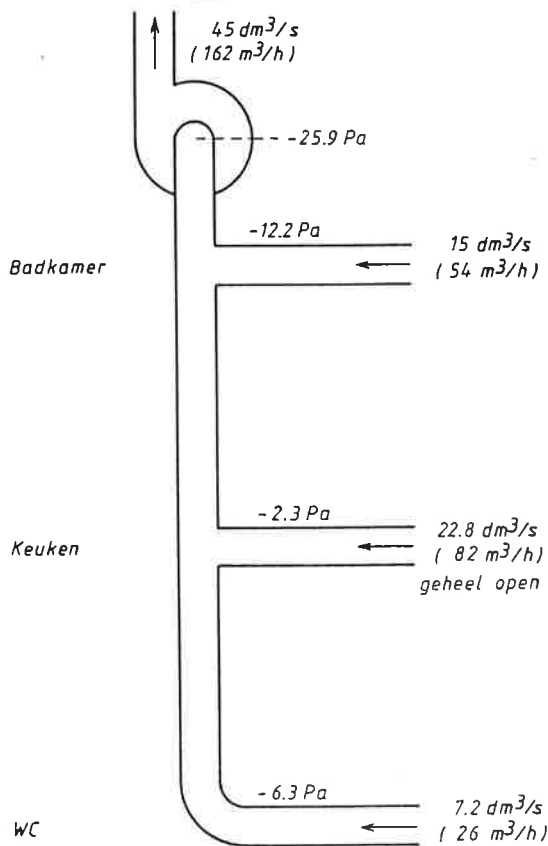
Figuur 9: Weerstandskarakteristiek van een meetkap

komstig de berekeningsresultaten de situatie te ontstaan volgens figuur 10. Hierin is te zien dat de verkregen situatie met grotere volumestromen werkt dan volgens het ontwerp zou mogen worden verwacht. De grootste afwijking had moeten ontstaan in de keuken, maar tijdens de inregelprocedure bleek de gewenste waarde van $21 \text{ dm}^3/\text{s}$ (75 m^3 per uur), zelfs bij geheel geopend ventiel, niet haalbaar te zijn.

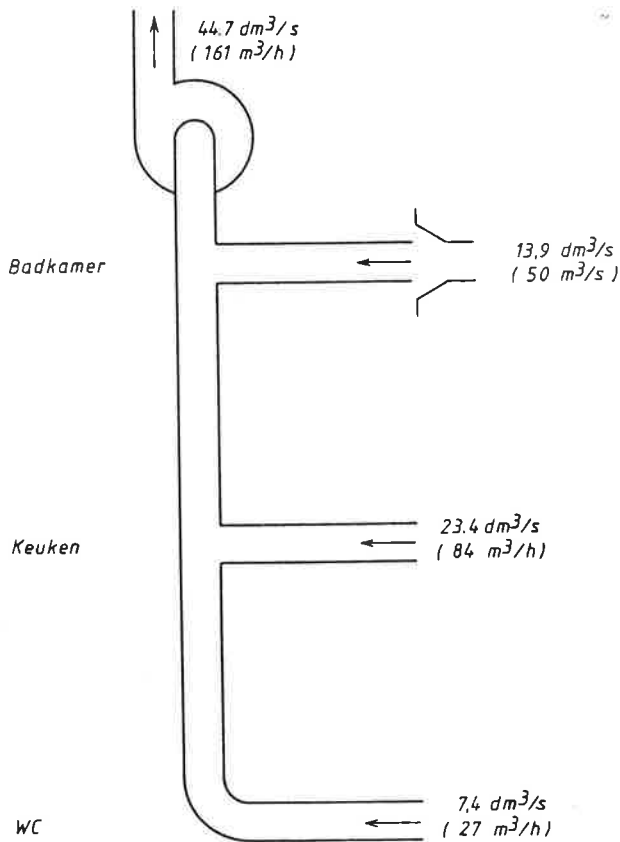
In de figuren 11 t/m 13 zijn de situaties weergegeven aan het eind van de inregelprocedure, met de meetkap telkens op één der drie ventielen. Uit figuur 12 blijkt dat de ingestelde volumestroom in de keuken lager uitvalt dan de gewenste waarde.

In figuur 14 is de situatie bovendien weergegeven voor het geval de meetkap op de uitblaasopening van de ventilator wordt geplaatst. De meetfout wordt hierbij nog groter.

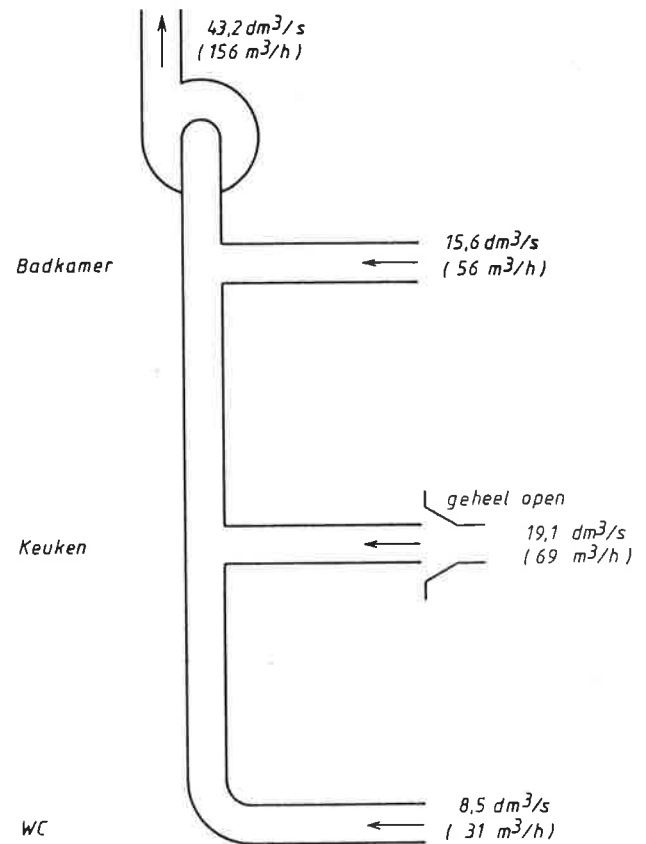
De hier getoonde uitkomsten zijn slechts getalenvoorbeelden voor een fictief ontwerp, bedoeld om de tendens van bepaalde invloeden te tonen; in de praktijk kunnen deze effecten in meerdere of mindere mate optreden.



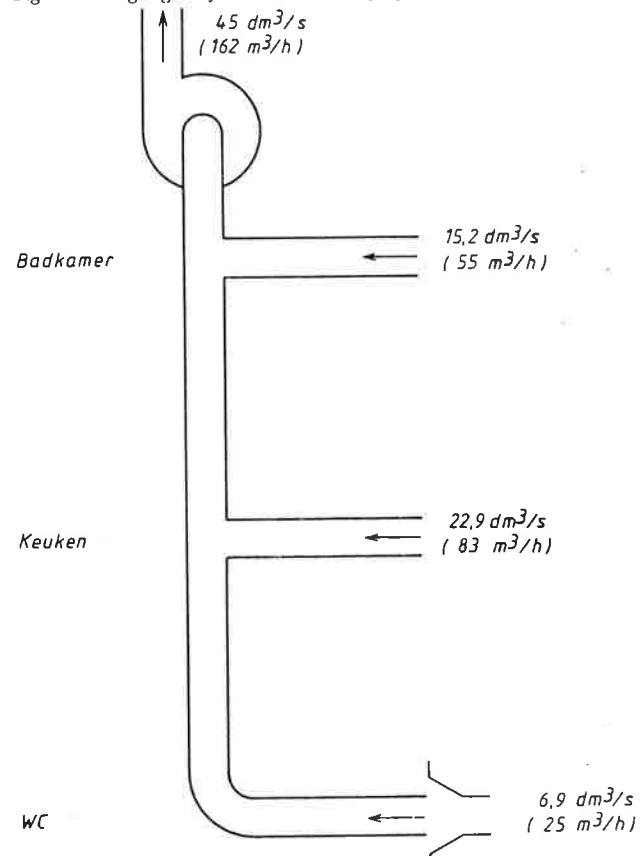
Figuur 10: Met meetakap ingeregeld afvoersysteem



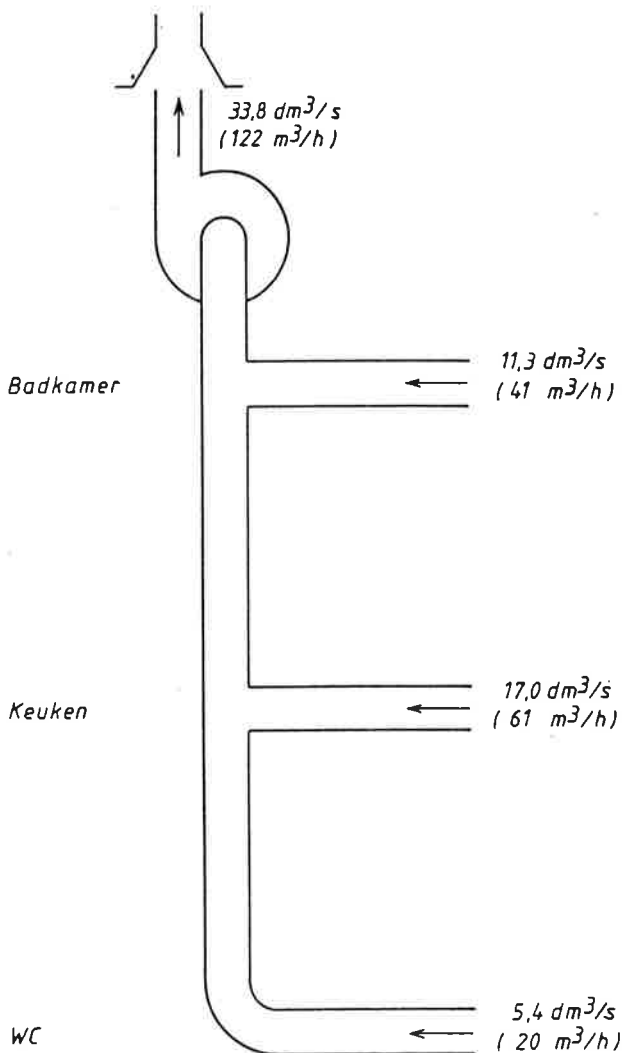
Figuur 11: Ingeregeld systeem met meetakap op de badkamerafvoer



Figuur 12: Ingeregeld systeem met meetakap op de keukenafvoer



Figuur 13: Ingeregeld systeem met meetakap op de toilet afvoer



Figuur 14: Ingeregeld systeem met meetkap op de dakafvoer

Invloed van het thermisch effect in verticale kanalen.

Wanneer in een vertikaal luchtkanaal een hogere temperatuur heerst dan in de omringende lucht is de soortelijke massa van de lucht in het kanaal lager dan in de omgeving. Men krijgt hierdoor te maken met het volgende effect:

Door het verschil in soortelijke massa ontstaat een opwaarts gerichte kracht in het kanaal. Deze kracht werkt met de luchtbeweging mee wanneer de stromingsrichting omhoog is gericht. Hij werkt tegen wanneer de stromingsrichting omlaag is gericht. Bij een lagere temperatuur in het kanaal dan in de omgeving werken deze effecten omgekeerd.

Verder heeft men nog te maken met de volgende effecten:

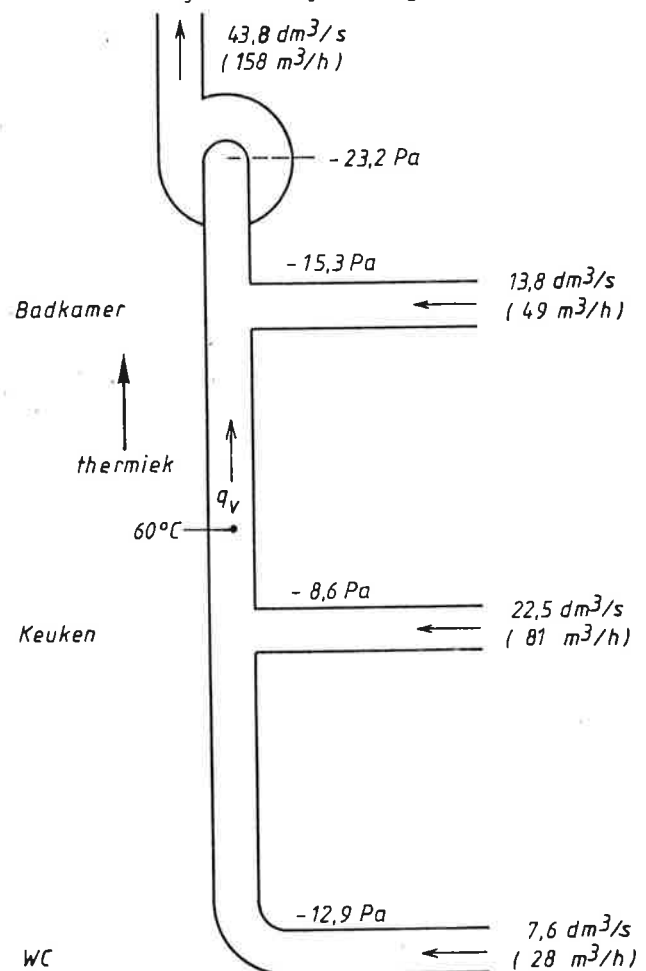
- 1) Indien de warme lucht door de luchtkanalen en roosters stroomt zullen deze een andere weerstand vertonen dan bij lucht van de omgevingstemperatuur. Aangezien een luchtverwarmingsinstallatie juist onder ontwerpcondities

de juiste luchttoevoer moet bewerkstelligen, dient het inregelen ook bij de maximale luchttemperatuur te worden uitgevoerd.

- 2) Ook wanneer de warme lucht door de meetkap stroomt zal de weerstand van de kap bij eenzelfde massastroom anders zijn dan bij de temperatuur waarvoor de meetkap geijkt was. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer men bij luchtverwarming onder ontwerpcondities inregelt. De door de meetkap aangegeven waarde dient dan gecorrigeerd te worden voor de temperatuur waarbij wordt gemeten.

Om aan te geven in hoeverre bovenstaande effecten een al of niet te verwaarlozen effect sorteren zijn in het model berekeningen uitgevoerd, zowel voor een vertikaal afvoer- als toevoerkanaal.

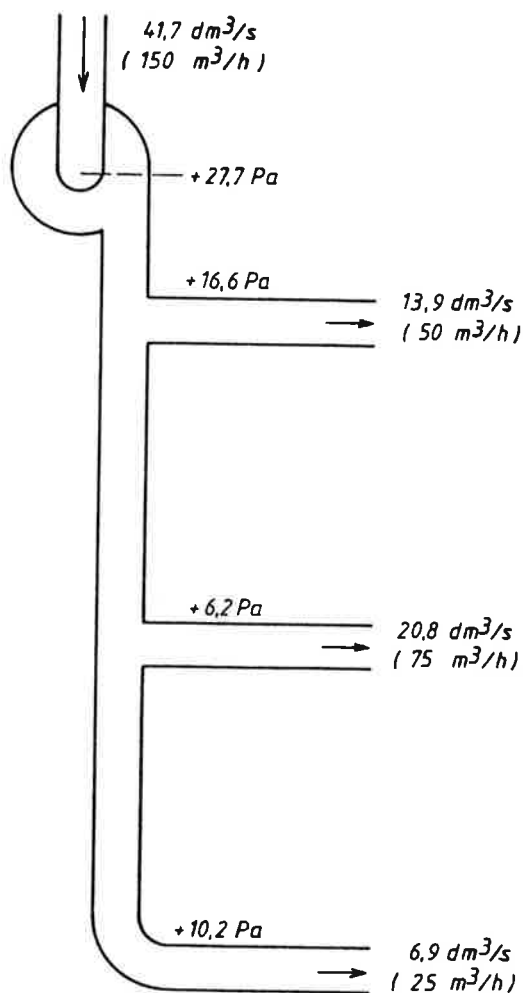
In figuur 15 is aangegeven welke volumestromen te verwachten zijn in het afvoersysteem volgens figuur 5, wanneer de temperatuur in het afvoerkanaal $60^\circ C$ bedraagt en de omgevingstemperatuur $20^\circ C$. De opwaartse kracht, die in dit geval met de stromingsrichting meewerkt, bedraagt $1.6 Pa$ per m hoogte; in het voorbeeld bedraagt deze opwaartse kracht bijna $10 Pa$ bij een hoogteverschil van ca 6



Figuur 15: Afvoersysteem met verhoogde temperatuur

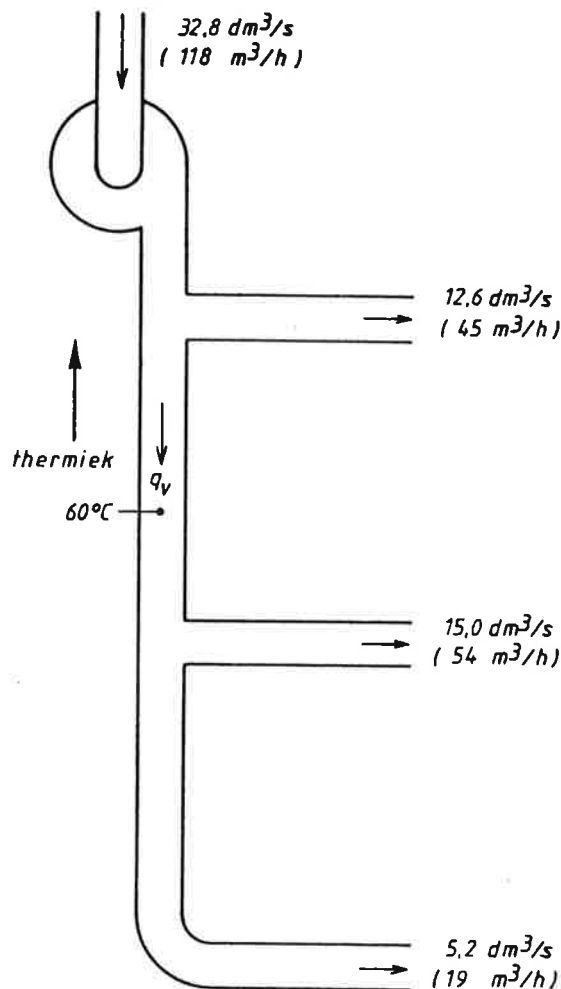
m. De vermelde volumestromen zijn gecorrigeerd voor 20 °C. De totale afvoervolumestroom neemt ten gevolge van het thermisch effect iets toe; door de laagstgelegen ventielen (keuken en toilet) is een toename en bij het hoger gelegen ventiel (badkamer) een geringe afname te zien.

Om aan te tonen wat de invloed van het thermisch effect is bij een vertikaal omlaag gericht toevoerkanaal, wordt het luchtsysteem zodanig gewijzigd dat dezelfde lucht volumestromen als in figuur 5 nu naar de vertrekken toe zijn gericht en waarbij de toevoerventilator dezelfde karakteristiek heeft als de afvoerventilator in figuur 5. De ontwerpcondities voor dit systeem zijn in figuur 16 weergegeven. In figuur 17 zijn de berekeningsresultaten getoond voor het geval de temperatuur van de toevoerlucht 60 °C bedraagt. De totale lucht volumestroom blijkt aanzienlijk te zijn afgenomen. Op de begane grond (keuken en toilet) zijn de volumestromen ten opzichte van de ontwerpcondities zelfs ca 30% te laag. De vermelde waarden van de volumestromen zijn terugerekend naar 20 °C.



Figuur 16: Ontwerpcondities voor een lage-druk-toevoersysteem

Dat het thermisch effect hierbij veel groter is dan bij het getoonde afvoersysteem is als volgt te verklaren: Bij het afvoersysteem werden de, ten gevolge van het ther-



Figuur 17: Toevoersysteem met verhoogde temperatuur

misch effect verhoogde, ventielweerstand gedeeltelijk gecompenseerd door de met de stromingsrichting mee gerichte opwaartse kracht.

Bij de het hier getoonde luchttoevoersysteem werken beide effecten echter een vermindering van de volumestromen in de hand.

Invloed van de wind

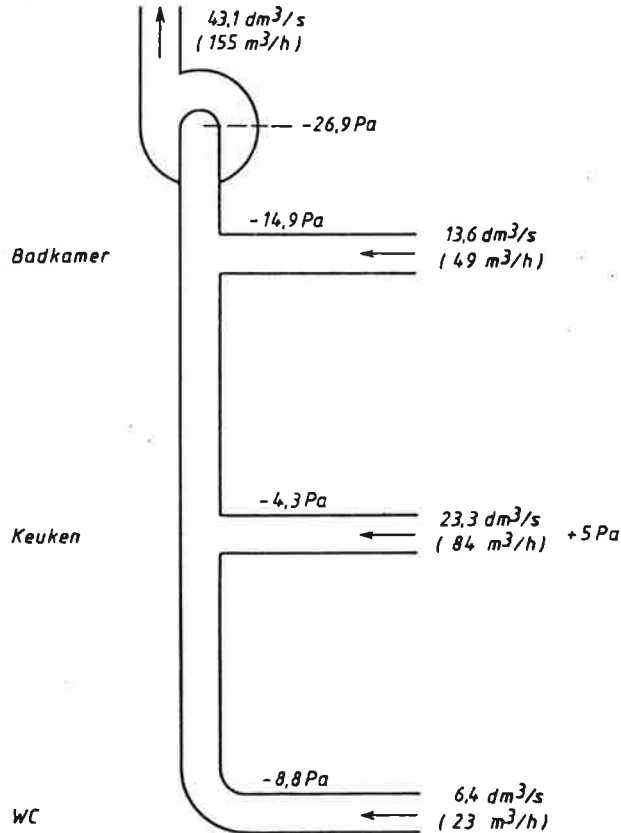
Onder invloed van de wind ontstaan drukverdelingen om gebouwen als gevolg waarvan ook in het gebouw een zekere drukverdeling tussen de vertrekken onderling optreedt. Bij woningen die met luchtverwarming zijn uitgeroost zullen de gevels over het algemeen vrij luchtdicht zijn uitgevoerd; bovendien zijn door aanwezigheid van overstroomb- en retourroosters de binnenwanden minder luchtdicht uitgevoerd, zodat de windinvloed op deze interne drukverdeling betrekkelijk gering zal zijn (enkele Pascals).

Bij geopende ramen of ventilatieroosters in de gevels zal de invloed echter aanzienlijk kunnen toenemen. De drukveranderingen kunnen dat tientallen Pascals bedragen.

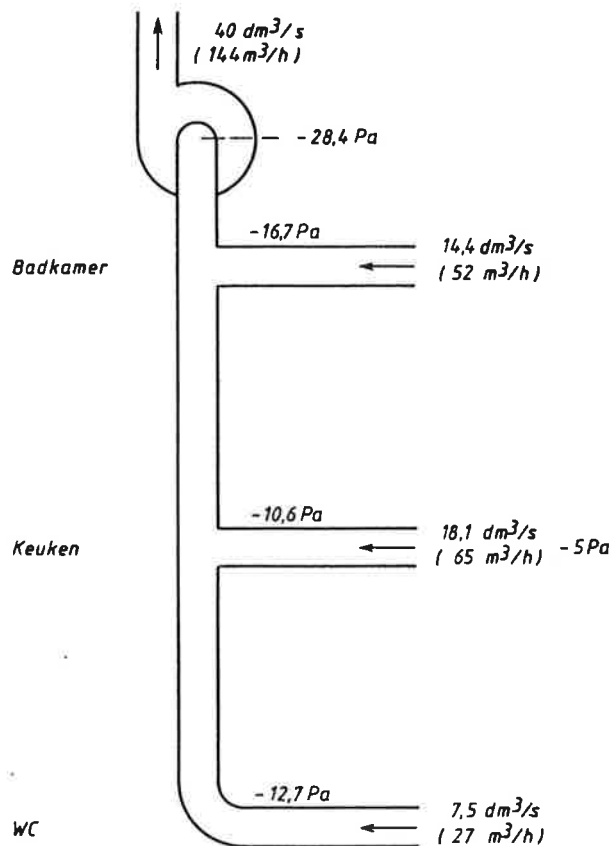
Verder valt te verwachten dat de totale volumestroom door het systeem nog wordt beïnvloed door een onderdruk op het dak waar de aanzuig- en afvoeropeningen van de ventilatoren over het algemeen uitmonden. Als de aanzuig- en de afvoeropeningen bovendaks onderling sterk verschillende winddrukken kunnen ondervinden, zijn grote verstoringen mogelijk.

Om de orde van grootte van deze effecten te demonstreren is in figuur 18 aangegeven welke verstoring te verwachten is wanneer in het systeem volgens figuur 5 een drukverhoging in de keuken ontstaat van + 5 Pa. De afgevoerde volumestroom neemt dan in de keuken toe en in de overige vertrekken af; de totaal afgevoerde volumestroom neemt eveneens toe. Bij een onderdruk van -5 Pa in de keuken werken deze effecten tegengesteld, zoals uit figuur 19 blijkt.

Het zal duidelijk zijn dat er inregelfouten ontstaan wanneer bij geopende ramen of ventilatieopeningen of bij sterke wind wordt ingeregeld. Aangezien het luchttechnisch ontwerp voor de windstille toestand is opgezet, dient het inregelen ook bij windstille toestand of zwakke wind plaats vinden. Bovendien moeten de deuren gesloten blijven omdat de ontwerpcondities ook bij gesloten binnendeuren moeten worden gehaald. Voor de getoonde voorbeelden met afwijkende druk in de keuken mag worden aangenomen dat de fouten die men maakt door onder deze omstandigheden in te regelen even groot, maar tegengesteld, zullen zijn aan de berekende afwijkingen die in de figuren 18 en 19 zijn aangegeven.



Figuur 18: Afvoersysteem met verhoogde druk in de keuken



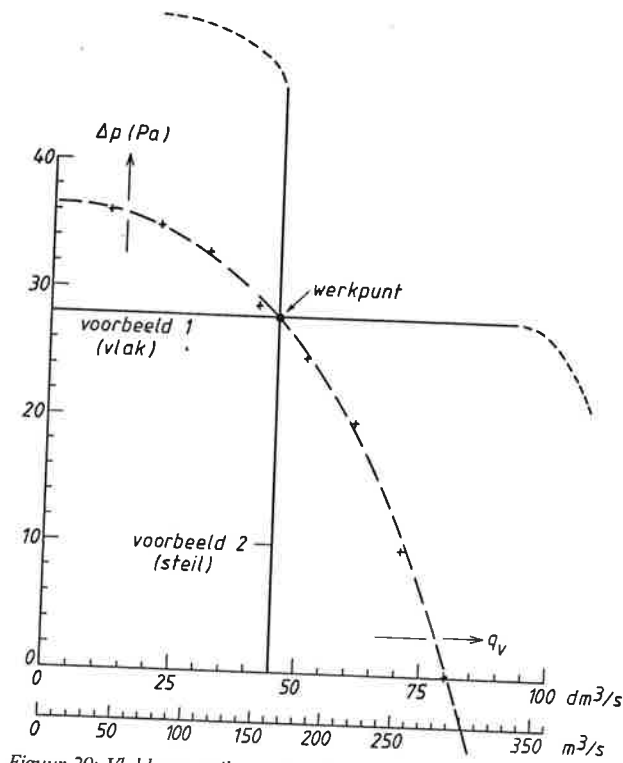
Figuur 19: Afvoersysteem met verlaagde druk in de keuken

Invloed van de ventilatorkarakteristiek.

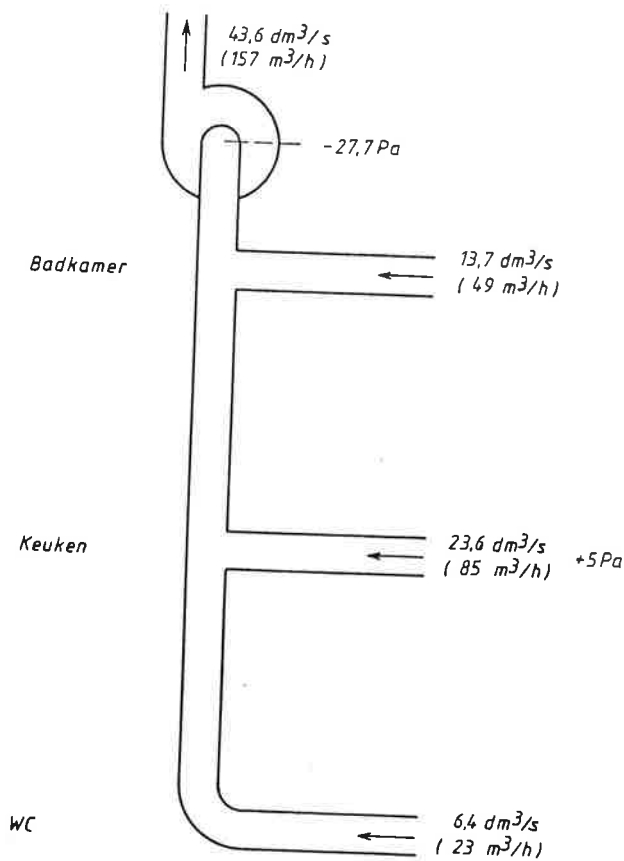
Bij de voorgaande berekeningsvoorbeelden werd steeds gebruik gemaakt van de ventilatorkarakteristiek volgens figuur 6. De vorm van deze karakteristiek is mede bepalend voor de grootte van de berekende volumestromen in de voorbeelden. Om na te gaan in hoeverre de gekozen vorm van invloed is op de berekeningsresultaten worden in het nu volgende enkele berekeningen uitgevoerd bij toepassing van, ten opzichte van figuur 6, afwijkende ventilatorkarakteristieken. In figuur 20 zijn de te beschouwen karakteristieken weergegeven; er is van uitgegaan dat beide hetzelfde werkpunt hebben om bij de ontwerpcondities de gewenste volumestroom te kunnen handhaven. Voorbeeld 1 heeft een vlakke karakteristiek, d.w.z. dat de opvoerhoogte van de ventilator steeds praktisch constant blijft. Voorbeeld 2 geeft een steile karakteristiek waarbij de volumestroom praktisch op een vaste waarde wordt gestabiliseerd.

Als voorbeeld wordt uitgegaan van de situatie waar sprake is van windinvloed (zie figuur 18). In de figuren 21 en 22 is weergegeven welke luchtverdelingen te verwachten zijn bij een drukverhoging van +5 Pa ten gevolge van de wind en bij toepassing van respectievelijk de vlakke en steile karakteristieken.

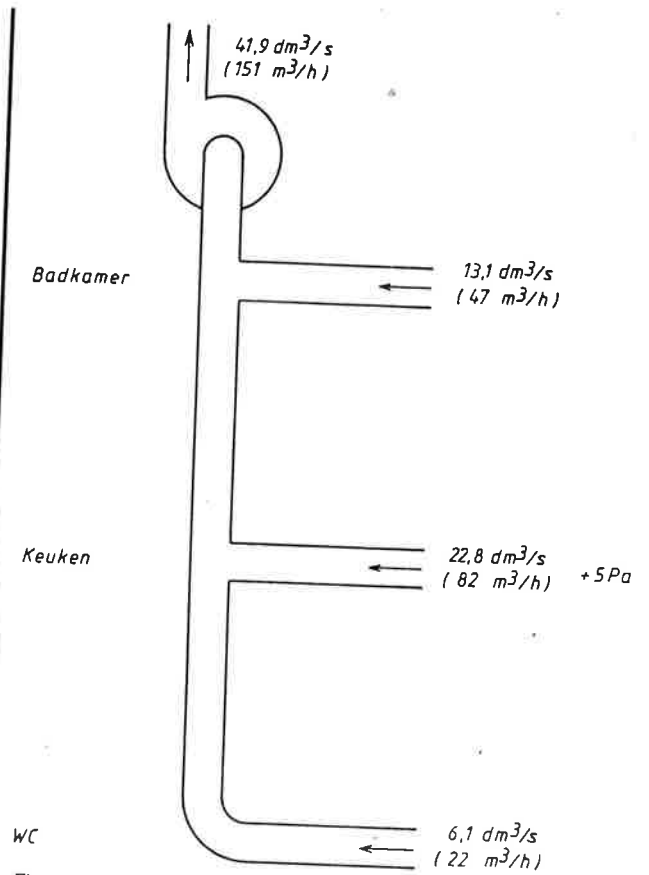
Het blijkt dat toepassing van de vlakke karakteristiek leidt tot een grotere afwijking in de keuken ten opzichte van figuur 18 en dat toepassing van een steile karakteristiek leidt



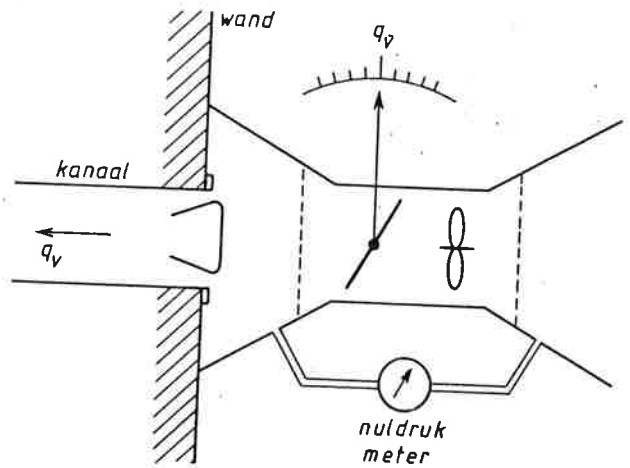
Figuur 20: Vlakke en steile ventilatorkarakteristieken



Figuur 21: Afvoersysteem met vlakke ventilatorkarakteristiek en verhoogde druk in de keuken



Figuur 22: Afvoersysteem met steile ventilatorkarakteristiek en verhoogde druk in de keuken



Figuur 23: Meetkap volgens het nuldruk-principe

tot een kleinere verstoring in de keuken, maar tot een grotere verstoring in de overige, op hetzelfde kanaal aangesloten vertrekken.

Het inregelen van een systeem met een steile karakteristiek is moeilijker dan met een vlakke karakteristiek. Dit komt omdat de onderlinge beïnvloeding van de volumestromen door de roosters bij een steile karakteristiek groter is dan bij een vlakke.

Ontwikkeling van een meetkap zonder weerstand.

Om het inregelen zonder systematische meetfout te kunnen uitvoeren is het gewenst gebruik te maken van een meetmethode waarbij het, voor de werking van het luchtsysteem, geen verschil maakt of de meetkap wel of niet voor een rooster is geplaatst.

Een dergelijke meetmethode is reeds lang bekend en staat in de literatuur bekend als de zogenaamde "nul-methode" [1]. Het kenmerkende van deze meetmethode is dat er gebruik gemaakt wordt van een ventilator die een tegendruk opwekt die even groot, maar tegengesteld is aan het drukverlies dat anders over de meetsectie zou optreden. Voor het te onderzoeken luchtrooster betekent dit dat de statische druk bij het rooster met of zonder aanwezigheid van de meetopstelling dezelfde blijft en de te meten lucht-volumestroom dus niet wordt beïnvloed.

Door MT-TNO wordt in samenwerking met ACIN B.V. en met financiële ondersteuning van NEOM gewerkt aan een handzaam meetinstrument dat volgens bovenstaand principe werkt. De hieraan te stellen eisen zijn de volgende:

- De meetkap moet met gemak boven het hoofd kunnen worden gehouden en worden bediend.
- De meetwaarde moet snel kunnen worden bepaald.
- Het apparaat moet eventueel op batterijen kunnen werken.
- Het op nul regelen van de statische druk moet met een analoog aanwijzend meetinstrument plaatsvinden.
- De meetkap moet op eenvoudige wijze kunnen worden geijkt.
- Een meetbereik van tenminste $3 \text{ dm}^3/\text{s}$ (10 m^3 per uur) tot $63 \text{ dm}^3/\text{s}$ (225 m^3 per uur).

Om aan het tweede criterium te kunnen voldoen wordt er naar gestreefd de meetkap zodanig te ontwerpen dat niet behoeft te worden verwacht op het bereiken van een ander toerental van de ingebouwde ventilator omdat dit vertragend werkt en de tijdsduur waarin het meetinstrument tegen het rooster moet worden gehouden dan onnodig lang wordt.

In figuur 23 is het principe van een dergelijke meetkap weergegeven. De ingebouwde ventilator heeft een konstant toerental. Door middel van een regelbare klep wordt de nuldrukmeter op nul geregeld. De stand van de klep is dan een maat voor de volumestroom door het rooster.

Metingen in de praktijk

In een woning met gebalanceerde ventilatie (d.w.z. dat er mechanische toe- en afvoer in gelijke hoeveelheden plaatsvindt) werden metingen verricht m.b.v. een meetopstelling die werkte volgens de nulmethode [3]. In tabel 1 zijn in de eerste kolom de waarden van de volumestromen vermeld zoals deze volgens het ontwerp hadden moeten worden ingesteld. In de tweede kolom zijn de waarden vermeld zoals deze in de aangetroffen toestand werden gemeten. Bij nader onderzoek bleek dat het noodzakelijk was de door de installateur gebruikte meetkap, die werkte volgens het principe van figuur 4, opnieuw te ijken. Nadat deze ijking had plaats gevonden werd de installatie opnieuw door de installateur met behulp van de meetkap ingeregeld.

Daarna werden de ingestelde volumestromen opnieuw gemeten met de meetopstelling volgens de nulmethode, waarvan de meetnauwkeurigheid op minder 5% wordt geschat.

In de derde kolom zijn de gemeten waarden vermeld; uit de meetresultaten blijkt het volgende:

- De volumestromen door de toevoerroosters zijn met redelijke nauwkeurigheid ingesteld.
- De volumestromen door de afvoerroosters zijn, met uitzondering van het toilet, te hoog ingesteld. Dit sluit volledig aan bij de verwachting dat grote volumestromen t.g.v. de weerstand van de meetkap, na het instellen van het rooster, te hoog kunnen uitvallen.
- De afvoervolumestroom in het toilet is te laag uitgevallen hetgeen een gevolg was van de constructie van het afvoerrooster waarmee moeilijk een kleine volumestroom nauwkeurig kon worden ingesteld.
- De beoogde luchtbalans tussen toe- en afvoer blijkt te worden verstoord doordat de meetfouten om genoemde redenen de totale afvoerlucht-volumestroom te hoog doen uitvallen.
Zou men in een dergelijke woning een open haard willen toepassen, dan is terugslag van het rookgaskanaal te verwachten.

Tabel 1

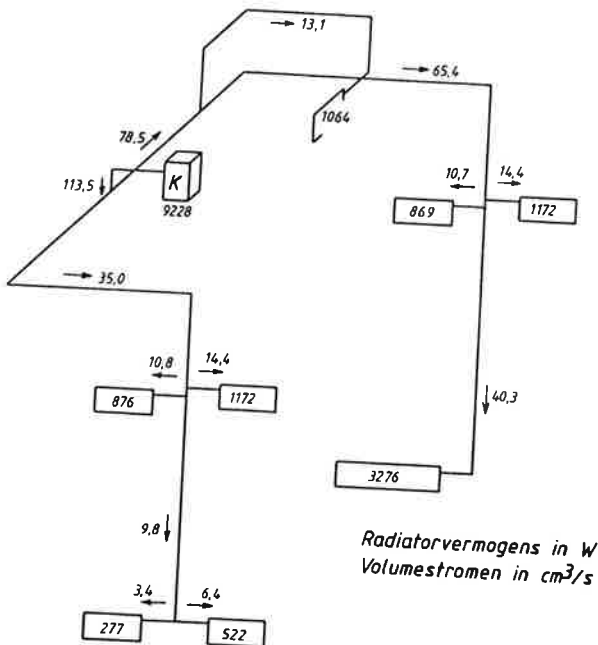
Gemeten volumestromen in een eengezinswoning met mechanische luchttoe- en afvoer
 luchtvolumestromen in dm³/s (m³ per uur) bij 20 °C. De inregelfout is de afwijking ten opzichte van de ontwerpwaarde uitgedrukt in procenten van de ontwerpwaarde.

Toevoer	Ontwerp	Aangetroffen Toestand	Opnieuw Ingeregeld	
			Fout %	Fout %
wonk.(3 roosters)	30.6 (110)	15.6 (56)	-49	29.4 (106)
slaapk. 1	8.3 (30)	3.9 (14)	-53	10.0 (36)
slaapk. 2	11.1 (40)	3.3 (12)	-70	10.0 (36)
slaapk. 3	8.3 (30)	3.9 (14)	-53	8.3 (30)
slaapk. 4	11.1 (40)	4.4 (16)	-60	9.7 (35)
Totaal	69.4 (250)	31.1 (112)	-55	67.5 (243)
Afvoer				
keuken (plafond)	18.1 (65)	9.7 (35)	-46	19.4 (70)
keuken (geyser)	13.9 (50)	12.5 (45)	-10	15.3 (55)
toilet	6.9 (25)	13.6 (49)	+96	5.6 (20)
douche	16.7 (60)	10.3 (37)	-38	20.8 (75)
zolder	13.9 (50)	10.3 (37)	-26	15.8 (57)
Totaal	69.4 (250)	56.4 (203)	-19	76.9 (277)

Inregelproblematiek bij radiatorverwarming

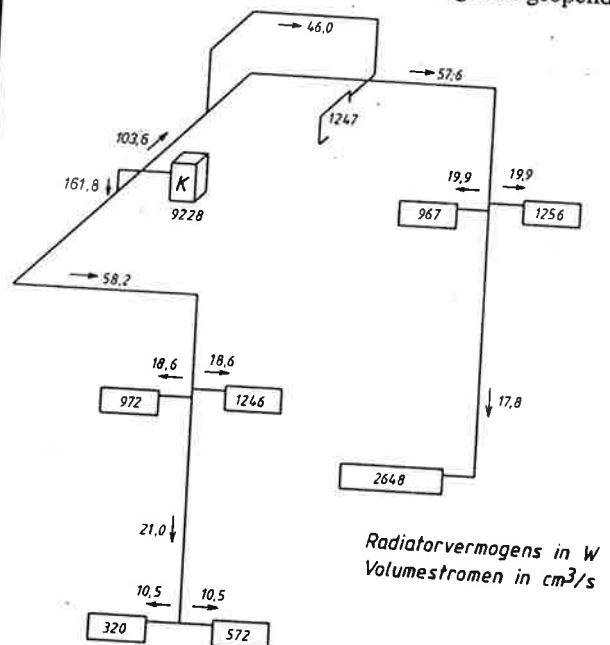
Bij de berekeningsvoorbeelden voor luchtverwarming werd steeds gebruik gemaakt van een simulatiemodel voor het berekenen van de luchtverdeling in kanaalnetwerken. In het nu volgende wordt gedemonstreerd dat deze berekeningswijze ook kan worden toegepast bij het beoordelen van inregelproblematiek in radiatornetwerken.

In figuur 24 wordt een schematische voorstelling gegeven van een leidingsysteem voor een eengezinswoning met



Figuur 24: Leidingsysteem voor een eengezinswoning volgens 90/70-ontwerp

radiatoren. In de radiatoren zijn de warmteafgiftegetallen vermeld welke werden bepaald volgens een transmissieberekening volgens 90/70-ontwerp. Men komt tot een ketelvermogen van 9228 W, als som van de radiatorvermogens. Warmteafgifte van leidingen blijft bij de transmissieberekening buiten beschouwing. Bij de diverse leidingstukken zijn de volumestromen vermeld die moeten worden ingeregeld om elke radiator met 90/70 te kunnen laten werken. In figuur 25 zijn de met het model berekende volumestromen vermeld welke te verwachten zijn indien niet wordt ingeregeld en alle radiatorafsluiters in de geheel geopende



Figuur 25: Leidingsysteem voor een eengezinswoning, niet ingeregeld, bij gelijk blijvende warmtelevering door de ketel

stand worden aangebracht. De warmteverdeling is dan zodanig dat alle radiatoren meer warmte gaan leveren ten koste van de radiator in de woonkamer, die te weinig warm water krijgt toegevoerd.

Aangezien de ruimtethermostaat zich over het algemeen in de woonkamer bevindt, is het logischer de warmteverdeling te bekijken bij gelijkblijvende warmtevraag in de woonkamer. Men komt dan tot de verdeling volgens figuur 26, waarbij de ketel 23% meer warmte moet leveren dan volgens de ontwerpcondities.

Men zou dus kunnen veronderstellen dat het niet inregelen zou kunnen leiden tot een toeneming van het energieverbruik met ditzelfde percentage. Men moet echter bedenken dat het hier statische berekeningen betreft, waarbij geen rekening wordt gehouden met de volgende effecten:

- warmteafgifte van leidingen
- doorstroomtijd van leidingen en radiatoren
- dynamisch gedrag van leidingen en radiatoren
- dynamisch gedrag van de bouwconstructies
- warmteuitwisseling tussen vertrekken onderling
- statische regelafwijking van de kamerthermostaat
- het ketelrendement als functie van de retourwatertemperatuur

Door gebruik te maken van het z.g. meerkamerinstallatiemodel [2], waarover MT-TNO beschikt, worden deze effecten allemaal mede in rekening gebracht bij de beoordeling van het werkelijk effect van het niet inregelen.

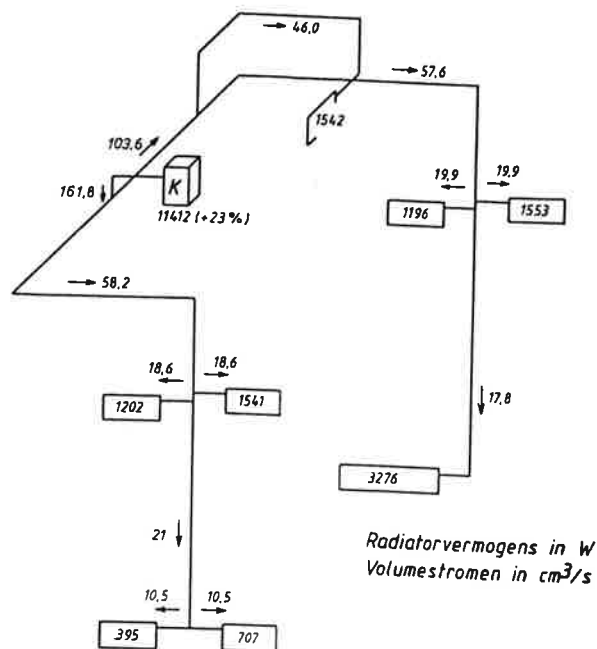
In tabel 2 zijn de resultaten van een berekening met dit model voor het onderhavige geval weergegeven. Het niet inregelen leidt dan tot een berekende verhoging van de warmtevraag met 9%; doordat het rendement van de HR-ketel ten gevolge van het oplopen van de retourwatertemperatuur afneemt, neemt het energieverbruik echter met 10% toe. De statische regelafwijking van de kamerthermostaat neemt 's-avonds toe van 0,8 tot 1,0 K.

Dat de extra warmtevraag nu lager uitvalt dan bij de statische berekeningen het geval was, is voornamelijk te verklaren doordat de temperatuur in de woonkamer minder ver daalt dan men zou verwachten. Dit komt omdat de temperaturen in de overige vertrekken door de verhoogde warmteafgifte toenemen en het warmteverlies vanuit de woonkamer als gevolg hiervan afneemt.

Tabel 2

Berekeningsresultaten met het meerkamerinstallatiemodel voor een matig koude winterdag; ketel; alle radiatoren open.

	warmte- vraag	ketel- rendement	energie- verbruik	statische regelafwijking kamerthermostaat 's-avonds
	(MJ)	(%)	(MJ)	(K)
Wel ingeregeld	388	88.1	441	-0,8
Niet ingeregeld	422 (+9%)	87.0	485 (+10%)	-1,0



Figuur 26: Leidingstelsel voor een eengezinswoning, niet ingeregeld, bij gelijk blijvende warmtevraag in de woonkamer

Conclusies

- Het belang van het inregelen is bij luchtverwarming groter dan bij radiatorverwarming.
- Bij het toepassen van een meetkap die niet volgens de nulmethode werkt, wordt een systematische meetfout geïntroduceerd die, vooral bij lage-druk-systemen, toeneemt bij het meten van grotere volumestromen
- De thermische druk in een vertikaal kanaal voor luchtverwarming kan 1 à 2 Pa/m bedragen. Bij luchtverwarming in eengezinswoningen met de ketel op zolder betekent dit dat het toevoerkanaal een extra tegendruk van circa 10 Pa kan ondervinden. Bij toepassing van een ventilator met een laag toerental kan dit een aanzienlijke verstoring van de luchtverdeling betekenen. Het inregelen dient daarom bij voorkeur bij de ontwerpblaas-temperatuur plaats te vinden, waarbij de meetkap moet zijn gecorrigeerd voor deze temperatuur.

- Ten gevolge van de wind ontstaat een kleinere verstoring van de ingestelde volumestromen bij toepassing van een vlakke ventilator karakteristiek dan bij een steile.
- Het inregelen dient plaats te vinden bij windstil weer of zwakke wind, terwijl de ramen, deuren en ventilatiespleten gesloten dienen te zijn.
- Uit de praktijkmetingen blijkt dat t.g.v. de meetfouten bij het gebruik van een conventionele meetkap een verstoring van het gebalanceerd systeem kan ontstaan doordat voor de afvoer van lucht per rooster blijkbaar grotere volumestromen worden toegepast dan bij toevoerroosters. Een te hoge afvoer is hiervan het gevolg.
- Uit het voorbeeld voor een niet ingeregeld radiatorcircuit blijkt dat de toeneming van het energieverbruik minder groot is wanneer men rekening houdt met het dynamisch warmtegedrag van de installatie en de bouwkundige constructie dan wanneer men alleen rekening houdt met statische eigenschappen.

Literatuur

- [1] Rolloos, M
Het inregelen van luchthoeveelheden bij ventilatiesystemen, Verwarming en Ventilatie 1975-12(dec.), p658-670.
- [2] Ham, Ph.J. en R.D. Crommelin
Een dynamisch model voor de berekening van het energieverbruik in woningen bij toepassing van verschillende installatieontwerpen, Verwarming en Ventilatie 41 (1984) 12(dec.), p849-865.
- [3] van der Wal, J.F. en anderen
Oriënterend onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van minimumenergiewoningen te Schiedam, MT-TNO, Rapport F 2094, mei 1985.

AIREDALE

INTERNATIONAL AIR CONDITIONING

VOOR

**KLIMAATBEHEERSING VAN RUIMTEN
WAAR SPECIALE EISEN AAN GESTELD
WORDEN**

Kenmerken van de AIREDALE organisatie:

- * snelstgroeijende producent van air-conditioning apparatuur,
- * modern produktie-apparaat,
- * voortdurend onderzoek en perfectie van de apparatuur,
- * kwaliteit en betrouwbaarheid,
- * internationaal aanvaarde en toegepaste apparatuur,
- * toegepast door vele internationale concerns.

HET LEVERINGSPROGRAMMA OMVAT:

- * **UPFLOW, DOWNFLOW EN HORIZONTAAL UITBLAZENDE APPARATUUR,**
- * **CONDENSORS EN CONDENSING UNITS,**
- * **WARMTEPOMPEN, EN**
- * **KOUWATERAGGREGATEN**
- * leverbaar in lucht- en watergekoelde uitvoering,
- * compacte of split bouwwijze,
- * koelcapaciteiten van 5 tot 100 Kw,
- * luchthoeveelheden van 1700 tot 20.000 m³/h,
- * afwerking door middel van een epoxy-hars-lak die aangepast kan worden aan de omgeving waar de apparatuur wordt opgesteld, en
- * elektrische bedrading volgens EEG normen.

**ALLEENVERTEGENWOORDIGING IN
NEDERLAND:**



**LUCHTBEHANDELING EN
REGENERATIE**

Industrieweg 18
1231 KH Loosdrecht
Postbus 35

1230 AA Loosdrecht
Telefoon: 02158-1309*/4264*
Telex: 43529 horos nl