

BELOK

# Värdering av luftfilter i samband med upphandling

Förstudie

Utarbetad av  
Lars Ekberg, CIT Energy Management  
Anders Flyckt, SP

Göteborg, mars, 2006

Beställargruppen lokaler, BELOK, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på kommersiella lokaler. BELOK initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning på energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

Gruppens medlemsföretag är:

- Akademiska Hus
- AP Fastigheter
- Castellum/Brostden
- Diligentia
- Fabege
- Fortifikationsverket
- Locum
- Luftfartsverket
- Midroc
- Specialfastigheter
- Statens Fastighetsverk
- Vasakronan
- Västfastigheter

Till gruppen är knutna även:

- Statens Energimyndighet
- Boverket
- ByggherreForum
- CIT Energy Management

**INNEHÅLL**

1. Bakgrund	4
1.1 Sammanfattning av problemområdet	4
1.2 Sammanfattning av förstudien – förslag till fortsättning	5
2. Tillräckligt effektiv filtrering	6
3. Risker med dåligt skötta filter	8
4. Låg totalkostnad - LCC	9
5. Energieffektiv drift – lågt tryckfall	11
5.1 Uppskattning av tryckfallsutvecklingen genom korrigering av testdata - beräkningsexempel	12
5.2 Exempel på problem i samband med leverantörernas lämnande av uppgifter vid en större upphandling	15
Litteratur	17
Bilaga 1. Exempel på samband för beräkning av årlig energikostnad och tryckfall.	20

## 1 Bakgrund

Hösten 2005 föreslog SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut och CIT Energy Management AB tillsammans med Skinnskattebergs Kommun ett projekt med titeln *Utveckling av metod för värdering av luftfilter vid upphandling*. Anslag för projektet söktes från Energimyndighetens beställargrupp för lokaler, BELOK, vilka beslutade att i samarbete med ByggherreForum beställa en förstudie till projektet.

Resultatet av förstudien redovisas i föreliggande rapport. Förstudien har genomförts av Anders Flyckt, SP, och Lars Ekberg, CIT Energy Management AB.

### 1.1 Sammanfattning av problemområdet

De grundläggande avsikterna med filtrering av luft i byggnader är dels att förhindra nedsmutsning av kanaler och komponenter i luftbehandlingsaggregat och ventilations-system, dels att förhindra att luftföroreningar utifrån når inomhusmiljön. Det kan vara fråga om att minska människors exponering för luftföroreningar, men inom många industritillämpningar är huvudsyftet ofta att skydda produkter och processer i byggnaderna. Krav på luftfiltreringens effektivitet varierar över ett brett spann beroende på vilken typ av aktivitet som pågår i de aktuella lokalerna. Kraven på luftrenhet, och följaktligen kraven på de filter som används, skiljer sig avsevärt åt mellan exempelvis kontorslokaler och laboratorier. Oavsett tillämpning så kan en rad önskemål ställas upp beträffande filtreringen:

- Tillräckligt effektiv filtrering (avskiljningsgrad) under filtrets hela brukstid. Detta säkerställs genom att:
  - filtermediat har tillräckligt hög avskiljningsgrad under hela brukstiden
  - filterinstallationen är utförd utan läckage mellan filtret och dess infästning i luftbehandlingsaggregatet
- Drift utan störningar i form av att dålig lukt, fibrer eller andra föroreningar avges från filtren. Detta säkerställs genom tillräckligt frekventa filterbyten.
- Låg totalkostnad
- Energieffektiv drift, dvs ett lågt tryckfall över filtret
- Liten belastning på den yttre miljön
- Säker hantering, exempelvis möjlighet till filterbyte utan risk för driftpersonalens hälsa

För 10 å 15 år sedan aktualiserades problemet med filter vars avskiljningsgrad drastiskt sjönk efter kort tids drift. Sedan dess har standarden för provning och klassning av filter reviderats och kompletterats med syfte att förhindra undermåliga produkter från att nå marknaden. För att ytterligare öka sannolikheten att de filter som används håller acceptabel kvalitet avseende avskiljningsgrad finns möjligheten för filterkunden att välja filter som P-märkts vid SP.

Forskare har påpekat att tilluftsfilter som inte byts tillräckligt ofta kan ge uppvåg till luktproblem. Bland de mest långtgående riktlinjerna för att råda bot på detta potentiella problem återfinns i de Finska inneklimatekniklinjerna. Dessa rekommenderar bl a att filter som exponeras för obehandlad uteluft bör bytas ut efter 6 månaders drift, eller då de varit blöta under en längre tid (någon vecka).

En speciell svårighet för kunden i samband med upphandling av luftfilter består i att det är oklart hur prestanda för filter från olika leverantörer skall jämföras. Framförallt är bedömningen av ett filters livslängd i en anläggning allmänt sett osäker. Ibland försöker man grunda valet av filter på den totala filterkostnaden, uppskattad med hjälp av en livscykelkostnadsanalys (LCC), d v s en nuvärdesberäkning av de totala kostnaderna för fläktenergi, filterbyten och kvittblivning. Dessvärre blir resultatet av sådana beräkningar osäkert eller t o m missledande, om indata till beräkningarna är felaktiga, vilket tyvärr ofta är fallet.

## 1.2 Sammanfattning av förstudien – förslag till fortsättning

Sammanfattningen och även rapportens upplägg i stort följer den uppdelning av området som presenteras i föregående avsnitt:

Behovet av luftfiltrering är någorlunda väl klarlagt och det finns idag möjlighet för kunden att välja kvalitetssäkrade filter. Det förefaller inte finnas något utvecklingsbehov för att ta fram filter med högre avskiljningsgrad än dagens. De för ett tiotal år sedan aktuella problemen med kraftigt sjunkande avskiljningsgrad tycks i stor utsträckning vara lösta.

Problem med dåliga lukter och mikrobiell växt i filter, ofta förknippat med bristande skötsel är ett område som ännu inte är klarlagt. De mest långtgående rekommendationerna för att undvika sådana problem föreslår filterbyte med 6 månaders intervall, något som ur förvaltningssynpunkt inte kan anses önskvärt. En satsning från BELOK skulle lämpligen inledas med en litteraturstudie och kritisk granskning av publicerat material på området. Målet för en sådan satsning skulle vara att BELOK publicerar riktlinjer för drift och skötsel av filteranläggningar.

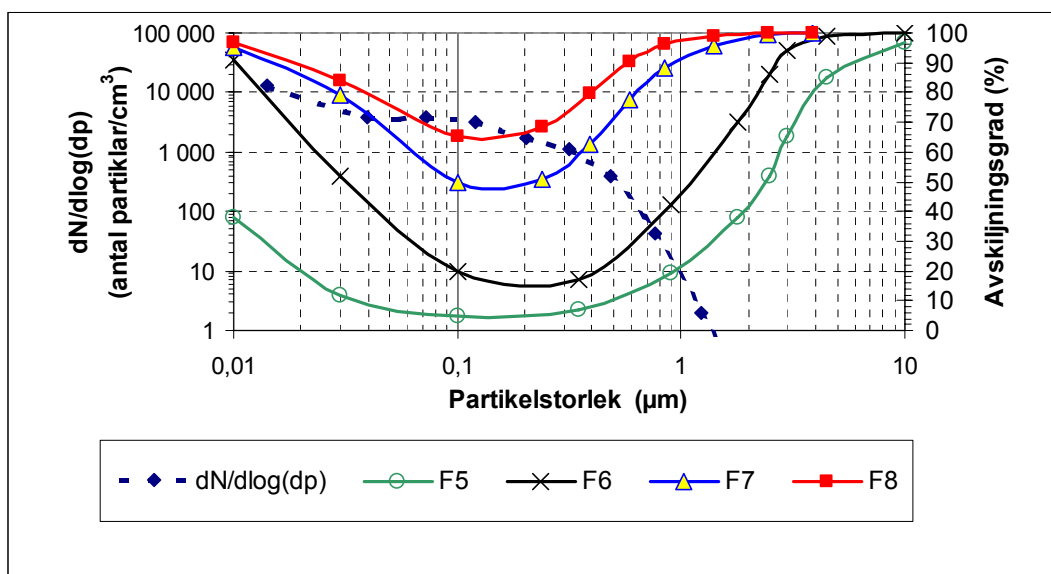
Det finns ett fortsatt stort intresse för ny filtertechnik med lågt tryckfall och därigenom lägre totalkostnad för filtreringen i lokalbyggnader. Uppfattningen att man bör grunda sitt filterval på LCC-beräkningar är rätt vanlig och BELOK tillhandahåller ett beräkningshjälpmedel på sin hemsida. Som föreliggande rapport visar finns det dock endast små eller inga möjligheter att förutsäga tryckfallsutvecklingen för filter. Således saknas relevanta indata till de föreslagna LCC-beräkningarna, vilka därför tenderar att bli utan mening och följaktligen oanvändbara.

Rapporten indikerar att det torde finnas framkomliga vägar för att ta fram en någorlunda träffsäker metod för uppskattning av tryckfallsutvecklingen och i förlängningen en praktiskt användbar metod för ekonomisk värdering av filter. För att få fram underlag till en sådan metodutveckling skulle fältmätningar över åtminstone 1 år behöva genomföras för filter av varierande typ och klass. Undersökningen måste täcka olika orter med olika grad av stoftbelastning i uteluften. Uppgifter från kommunala miljöövervakningsmätningar och Naturvårdesverket beträffande uteluftens stofthalt på olika platser utnyttjas lämpligen också. Målet för en satsning på detta område skulle lämpligen vara publiceringen av riktlinjer från BELOK beträffande värdering av luftfilter i samband med upphandling.

Det praktiska arbetet i samband med filterbyten och hantering av använda filter väcker en arbetsmiljöfråga. I många service- och förvaltningsorganisationer finns det kanske instruktioner som syftar till att minimera personalens exponering för hälsovådliga ämnen i samband med att service utförs på filteranläggningar. Är det känt hur sådana instruktioner efterlevs i praktiken? Möjligen skulle man inom BELOK-gruppen överväga att ta fram gemensamma riktlinjer på detta område.

## 2 Tillräckligt effektiv filtrering

För att filtreringen av ventilationsluft skall kunna betraktas som effektiv måste filtret under hela sin livslängd uppvisa en tillräckligt hög avskiljningsgrad (förmåga att fånga upp och skilja av partiklar från luftströmmen). En fråga som väcks i detta sammanhang är vad som kan anses vara en tillräckligt hög avskiljningsgrad. Idag används ofta finfilter av klass F7 i kontor, skolor och andra likande lokalbyggnader. De finska riktlinjerna (FiSIAQ 2001) rekommenderar filterklass F8 för den högsta av de luftkvalitetsklasser som där definierats. Exempel på vad olika filterklasser innebär i procentuell avskiljning av partiklar av olika storlek redovisas Figur 1. Figuren gäller nya filter. För både F7- och F8-filter gäller att tilluften renas i stort sett fullständigt från partiklar större än någon mikrometer, och även att halten ultrafina partiklar reduceras avsevärt (ultrafina partiklar är partiklar mindre än  $0,1\mu\text{m}$ ). Genom att de stora partiklarna fångas av filtret elimineras risken att de invändiga ytorna i tilluftssystemet försmutsas. Halten grova partiklar mäts vanligen som massan av partiklar upp till storleken  $10\mu\text{m}$ . Detta mått kallas PM10. I förslag till nya byggregler från Boverket har ett krav införts att föroreningshalten i tilluften inte får överstiga de miljökvalitetsnormer som gäller för uteluft (Förordning 2001:527). För närvarande innebär detta att halten PM10 maximalt tillåts uppgå till  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  som dygnsmedelvärde. Kravet kommer att skärpas de närmsta åren, och det finns planer på att införa krav också på halten PM 2,5 (partiklar upp till  $2,5\mu\text{m}$  storlek). Med filter av klass F7 eller bättre kommer nuvarande och kommande krav på högsta partikelhalt i tilluften sannolikt att uppfyllas med god marginal.



**Figur 1** Exempel på avskiljningsgrad för nya filter av olika klass. Den streckade kurvan visar ett exempel på partikelstorleksfördelning uppmätt i uteluften strax utanför Borås (Matson 2004).

**Tabell 1** Lägsta filtereffektivitet som krävs för olika filterklasser enligt standarden EN779.

Filtertyp	Filterklass	Viktsavskiljning	Medelavskiljningsgrad - 0.4µm**
		(%)	(%)
Grundfilter	G1	50-65	-
	G2	65-80	-
	G3	80-90	(<20)*
	G4	>90	(20-40)*
Fin-Filter	F5	(95-98)*	40-60
	F6	(99)*	60-80
	F7	-	80-90
	F8	-	90-95
	F9	-	>95

\* Dessa värden är inte del av klassificeringen – de anges här för att möjliggöra en ungefärlig jämförelse mellan grundfilter och finfilter

För 10 á 15 år sedan uppmärksammades att vissa filter kan upvisa en avskiljningsgrad som initialt är hög, men att den avtar kraftigt under den första tidens drift. Problemet var förknippat med filter av plastfibrer. Fibrerna hade initialt en elektostatisk laddning. Avskiljningsgraden sjönk då stoft samlades upp i filtermediet (speciellt elektriskt ledande stoft, exempelvis sotpartiklar). Under 1994 genomförde SINTEF i Norge i samarbete med Norges Forskningsråd och Norges Tekniska Högskola i Trondheim en större undersökning av en rad olika filterfabrikat, varvid problemet fick mycket uppmärksamhet.

De aktuella plastfiberfiltren hade sannolikt rätt grova fibrer, vilket ledde till att den mekaniska avskiljningen av partiklar var låg. Sålunda var en hög avskiljningsgrad beroende av ovannämnda elektostatiska laddning. När denna gick ur filtret sjönk alltså avskiljningsgraden kraftigt. Problemet visade sig inte förrän filtret togs i bruk, men vid provning och klassning enligt då gällande standard uppvisade filtret en hög avskiljningsgrad och klassades därefter. Aktuell filterprovningstandard SS-EN779 reviderades och provningsmetoden kompletterades för att förhindra filter att på detta sätt klassas felaktigt.

### P-märkning av filter enligt SP

Partikelfilter kan P-märkas av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Kriterierna för P-märkningen omfattar godkännande enligt gällande internationella teststandard (dvs EN 779). Dessutom provas filtret vid SP (enligt SP-metod 1937) varvid uteluftens partikelinnehåll används som testaerosol. Provningsmetoden pågår under 6 månader och för godkännande krävs att partikelavskiljningsgraden ej någon gång underskrider de i Tabell 2 angivna värdena. Denna provning skall alltså ses som ett komplement till EN779 som anger krav för avskiljningsgradens medelvärde fram till ett visst sluttryckfall.

**Tabell 2** Krav vid P-märkning av filter.

Filterklass	Minsta avskiljningsgrad vid 0.4 µm	Minsta avskiljningsgrad vid 0.85 µm
F5	2%	14%
F6	12%	30%
F7	50%	70%
F8	70%	86%
F9	80%	91%

### 3 Risker med dåligt skötta filter

Om tilluftsfiltern är skadade eller bristfälligt installerade eller om inga tilluftsfilter används kommer stora partiklar att deponeras på tillufts-systemets inre ytor, vilket leder till nedsatt funktion exempelvis för värmeväxlare. Deponerade partiklar binds rätt hårt till ytan och risken för att de skulle lossna igen och senare tillföras luften torde vara liten (Fransson et al. 1995). I samma rapport dras slutsatsen att det inte är meningsfullt att mäta föroreningshalten i tilluften för att avgöra om kanalsystemet är nedsmutsat. Rekommendationen är att i första hand genomföra okulära kontroller.

Ansamling av damm i kanalsystem skulle på sikt kunna ge upphov till lukter. Om dammansamlingen är omfattande kan detta tänkas leda till ett ökat flödesmotstånd med allt för låga luftflöden som följd. Detta torde dock endast kunna bli aktuellt i frånlufts-kanaler, eftersom dessa normalt exponeras för ofiltrerad rumsluft som ofta innehåller en betydande mängd stora partiklar.

Ett flertal undersökningar, bl a från Danmark, har pekat på att tilluftsfilter som inte byts tillräckligt ofta kan ge upphov till luktproblem (Strøm-Tejsen, P, 2003; Mysen, M., 2003). Bland de mest långtgående riktlinjerna för att råda bot på detta potentiella problem återfinns i de tidigare nämnda Finska inneklimatekriktlinjerna (FiSIAQ, 2001). Dessa rekommenderar bl a att filter som exponeras för obehandlad uteluft bör bytas ut efter 6 månaders drift, eller då de varit blöta under en längre tid (någon vecka). En annan rekommendation ges av IHRS (2001): Förfilter bör bytas efter 8760 timmars drift och slutfilter efter ”2 års kontinuerlig drift”.

Luftintag bör utformas för att minska risken för regninslag och ansamling av väta i luftbehandlingsaggregatets intagsdel. Även om det inte förekommer regninslag kan filter som är placerade innan luften värms periodvis bli blöta. När det råder väderlek med dimma kommer de vattendroppar som formar dimman effektivt att skiljas av i filtret, vilket således blir blött. Blöta filter kan uppvisa något sämre avskiljningsgrad än torra (Frydenlund et al. 1999). Det förefaller lämpligt att anordna med ett avlopp så att vatten som tränger in i intagsdelen och fukt som ansamlas i filtret kan dräneras bort. Intagsdelens insida bör också kunna rengöras vid behov.

Ibland diskuteras risken för medryckning av partiklar i samband med fläktens start och stopp. En undersökning av Johanson och Rosell (1998) visade att detta kan förkomma men att inverkan förefaller vara av ringa betydelse. Mätningar av Kvernes (2003) visade



inga tecken på att pollenallergen som samlats upp av finfilter skulle lossna i samband med intermittent fläktdrift.

#### 4 Låg totalkostnad - LCC

Kostnaden för luftfiltrering anses ofta utgöra en avsevärd driftskostnad. Det är då fråga om kostnader dels för elenergi orsakade av filtrens tryckfall, dels för inköp av filter och arbetskostnader i samband med byte av filter.

Ibland försöker man grunda valet av filter på den totala filterkostnaden, uppskattad med hjälp av en livscykelkostnadsanalys (LCC), dvs en beräkning av de totala kostnadernas nuvärde. Ett antal beräkningshjälpmedel för detta ändamål finns tillgängliga ([www.belok.se/lcc/luftfilter.php](http://www.belok.se/lcc/luftfilter.php), EUROVENT, 1999). I båda dessa fall förutsätts medeltryckfallet över filtret vara känt.

Problemet vid LCC-beräkningar är inte beräkningarna i sig, utan att finna relevanta indata till beräkningarna. När det gäller LCC för luftfilter är den största svårigheten att uppskatta tryckfallsutvecklingen. Om man låser filterbytesintervallet till exempelvis 1 år blir problemet att uppskatta medeltryckfallet för denna period. Om filterbyte förutsätts ske vid ett visst förutbestämt sluttryckfall blir problemet istället att uppskatta hur ofta filtret kommer att bytas.

#### Metod för beräkning av livscykelkostnad

Livscykelkostnaden, LCC, beräknas som investering plus summan av servicekostnadernas och elkostnadens nuvärden, enligt ekvation (1).

$$LCC = Investering + \sum_{serv} \cdot Servicekostnad + \sum_{el} \cdot Elkostnad \quad (\text{Ekv. 1})$$

*Investering* = Priset för det filter som installeras initialt (i början av år 1) plus arbetskostnaden för denna installation.

*Energikostnad* = Kostnad för den elenergi som används för att transportera luften genom filtret under ett år. Den årliga elkostnaden beräknas utgående från luftflödet genom filtret, medeltryckfallet över filtret det aktuella året, fläktens totala verkningsgrad, drifttiden och elpriset, enligt Bilaga 1.

*Servicekostnad* = Kostnaden för varje filterbyte, bestående av kostnad för filter och arbetskostnad för den tid som åtgår för filterbytet samt kvittblivningskostnad.

$i_{serv}$  = Nuvärdesfaktorn för enstaka belopp

$i_{el}$  = Nuvärdesfaktorn för enstaka belopp – inkl. real elprishöjning

Summering av nuvärdena görs för kalkyltiden  $n$  år med hänsyn till kalkylräntan,  $r$ , och med hänsyn till förväntade förändringar av priset på arbete och elenergi.

#### Förutsättningar för beräkning av livscykelkostnad

För jämförelse mellan olika filteralternativ kan beräkningen av LCC göras för ett tänkt luftbehandlingsaggregat med ett tvärsnitt motsvarande en helmodul (592·592 mm). Nedan anges vilka indataparametrar som är nödvändiga för beräkningen och exempel på värden:

*Gemensamma indata för samtliga filteralternativ*

<b>Parameter</b>	<b>Exempel på värde</b>
Elpris:	0,55 kr/kWh
Real elprishöjning:	0% per år
Kostnader för arbetskraft:	350 kr/timme
Tid för service	15 minuter per filter
Real ökning av arbetskostnader:	0% per år
Real kalkylränta:	5%
Kalkyltid:	10 år
Total fläktverkningsgrad:	60%
Anläggningens drifttid:	Vardagar 06-18 -> 3750 tim
Luftflöde:	0,94 m <sup>3</sup> /s
Uteluftens stoftkoncentration:	20 µg/m <sup>3</sup>

*Specifika indata för varje filteralternativ*

<b>Parameter</b>	<b>Exempel på värde</b>
Filtrets pris	320 SEK/filtermodul
Medeltryckfall:	Beror på filtrets egenskaper, uteluftens stoftkoncentration, luftflödet och driftstiden

## 5 Energieffektiv drift – lågt tryckfall

Tryckfallet över luftfilter kan grovt räknat uppgå till mellan 1/5 och 1/3 av det totala tryckfallet i en anläggning, och således innebär luftfiltreringen en påtaglig användning av elenergi för drift av fläktar. Figur 2 visar ett exempel från ett testprotokoll enligt SS EN779 på uppmätt tryckfall för ett filter av klass F7.



**Figur 2** Exempel på tryckfallsutveckling för ett F7-filter testat enligt SS EN 779.

Som figur 2 visar ökar inte tryckfallet linjärt mot stoftbelastningen. Vid låga tryckfall skulle ett antagande om ett linjärt samband dock kunna försvaras (i figur 2 upp till 150 å 200 Pa).

För att bidra till utvecklingen av energieffektiva filter med låga tryckfall med bibehållen avskiljningsgrad har tekniktävlingar arrangerats, 1995-96 av NUTEK, och 2003 av Statens Energimyndighet. Begynnelsestryckfallet för det filter som vann Energimyndighetens tävling var ca 77 Pa. Detta filter provades inte enligt SS EN 779, men dess avskiljningsgrad kan bedömas nätt och jämnt motsvara klass F7. Tryckfallet för detta filter var grovt uppskattat 20% lägre än vad som vanligen mäts upp för F7-filter.

Filtrets begynnelsestryckfall bestäms på ett entydigt sätt i samband med provning av luftfilter enligt gällande Svensk- och Europeisk standard (SS-EN 779:2002). Däremot vållar ofta bedömningen av tryckfallsökningen (och därmed också livslängdsbedömningen) bekymmer eftersom det är svårt att uppskatta hur tryckfallet över ett filter ökar med drifttiden i en verklig anläggning. De enda tillgängliga uppgifterna härrör ofta från provning enligt nämnda standard. Filterprovningen omfattar bestämning av filtrets stoft-hållningsförmåga, vars innebörd bäst beskrivs som det tryckfall ett filter har vid en viss mängd uppsamlat provstoff, vid ett visst (standardiserat) luftflöde. Provningsprotokollet anger mängden stoft som samlats upp vid tre olika tryckfall (250, 350 och 450 Pa). Problemet vid bedömningen av tryckfallsutvecklingen under verklig drift hänger samman med att:

- Provningsen görs med ett standardiserat teststoff, som skiljer sig väsentligt från den aerosol filtret utsätts för i verklig drift, genom att det innehåller en mycket stor andel grova partiklar. Detta gör att tryckfallet vanligen ökar betydligt snabbare vid provningen än vid verklig drift.
- I verklig drift varierar stoftkoncentrationen både i tiden och mellan olika platser.

- I verkliga anläggningar byts ofta filtren vid avsevärt lägre tryckfall än de som anges i provningsprotokollet.
- Olika typer av filtermaterial (från konkurrerande leverantörer) har olika egenskaper och påverkas olika av det standardiserade teststofet.

Vissa filterleverantörer kan nog med rätt bra precision, utifrån egna erfarenheter, uppskatta tryckfallsutvecklingen för sina produkter. Andra har begränsade möjligheter till detta. Värderingen av filteralternativ i samband med upphandling blir lidande eftersom det är stor risk att olika filterfabrikat kommer att värderas med olika måttstockar. Filterkunden har mycket små möjligheter att kontrollera riktigheten i de olika konkurrerande filterleverantörernas uppgifter. Istället för en enhetlig bedömningsgrund erhåller ofta kunden ett delvis svåröverskådligt och svårbedömbart upphandlingsmaterial, trots att kanske samtliga anbudslämnarens filter provats enligt gällande standard.

Det vore således en stor fördel för filterkunden om det fanns en objektiv och tillräckligt noggrann metod för uppskattning av tryckfallsutvecklingen. Den gängse uppfattningen är dock att data från gällande filterstandard inte ger någon användbar ledning i sammanhanget.

Det förekommer att filterleverantörer uppger att man skulle kunna korrigera testresultatet från standardprovningen, och på så sätt få fram en någorlunda rättvisande bild av tryckfallens förändring med tiden. I vissa fall hänvisar man till den erfarenhet som byggs upp kring de egna produkterna och i andra fall till teoretiska beräkningar. Gemensamt för de olika angreppssätten är att den potentiella kunden har mycket små möjligheter att bedöma rimligheten i uppgifterna.

### 5.1 Uppskattning av tryckfallsutvecklingen genom korrigering av testdata - beräkningsexempel

I föreliggande avsnitt redovisas ett grovt försök till korrigering av den genom standarden SS EN 779 framtagna strofhållningsförmågan. Beräkningen har tillämpats på tre filter av klasserna F6-F8. Samtliga av dessa filter testades enligt SS EN 779 och genom provning i fält under 6 månader i Boråsluft.

Vid fältprovningen ökade filtrens vikt ungefär lika för alla tre filtren, vilket är förväntat eftersom alla tre filterklasserna normalt avskiljer 98-99% av massan av det stoft som når filtret. Mätningen visar således att filtren i genomsnitt samlat upp 169 gram stoft efter 183 dagars drift. Eftersom luftflödet genom filtren var  $0,94\text{m}^3/\text{s}$  och drifttiden var 4392 timmar (183 dygn) kan den genomsnittliga stofthalten i uteluften på den aktuella platsen beräknas ha varit  $11,4\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mikrogram per kubikmeter). Siffrorna ovan innebär att stoft samlas upp av filtren med en hastighet på ca 0,9 g/dygn.

Vid provning enligt SS EN779 ökade tryckfallet med 0,28 Pa/g för F6-filtret, 0,40 Pa/g för F7-filtret och 0,47 Pa/g för F8 filtret. Resonemanget leder till en uppskattning av tryckfallsökningen efter 183 dygns drift på 46 Pa, 67 Pa respektive 78 Pa för de tre filtren F6-F8. Det tryckfallsökningar som uppmättes vid fältundersökningen låg mellan 8 och 20 Pa. Beräkningarna resulterade således i 3-6 gånger större tryckfallsökningar än vad som mättes upp.

Nedan visas ett grovt försök att korrigera stofthållningsförmågan med en och samma faktor för alla tre filtren. Med ledning av de observerade avvikelserna väljs korrigeringsfaktorn lämpligen i intervallet 3-6. Det visar sig att de minsta avvikelserna mellan beräknad och uppmätt tryckfallsökning erhålls om korrigeringsfaktorns värde väljs till 4,8. Efter multiplikation av varje filters stofthållningsförmåga med denna korrigeringsfaktor ger en förnyad uppskattning ett resultat enligt Tabell 3. Som framgår av tabellen är det upp till 34% skillnad mellan beräknad och uppmätt tryckfallsökning. Vid en första anblick förefaller detta var en allt för stor avvikelse. Beräkningen resulterar dock i förhållandevis små avvikelser mellan beräknat och uppmätt sluttryckfall, som mest 6%.

**Tabell 3** Jämförelse mellan beräknad och vid fältmätning uppmätt tryckfallsökning efter 183 dygns drift.

Filter	Tryckfallsökning uppskattad med ledning av data från SS EN 779			Skillnad beräknat – uppmätt	
	Okorrigerat (Pa/g)	Korrigerat (Pa/g)	Korrigerat (Pa / 6 månader)	Tryckfallsökning (Pa)	Sluttryckfall (Pa)
F6	0,28	0,06	9,5	+28%	+2,5%
F7	0,40	0,08	14	-34%	-6,1%
F8	0,47	0,10	16	+9%	+0,8%

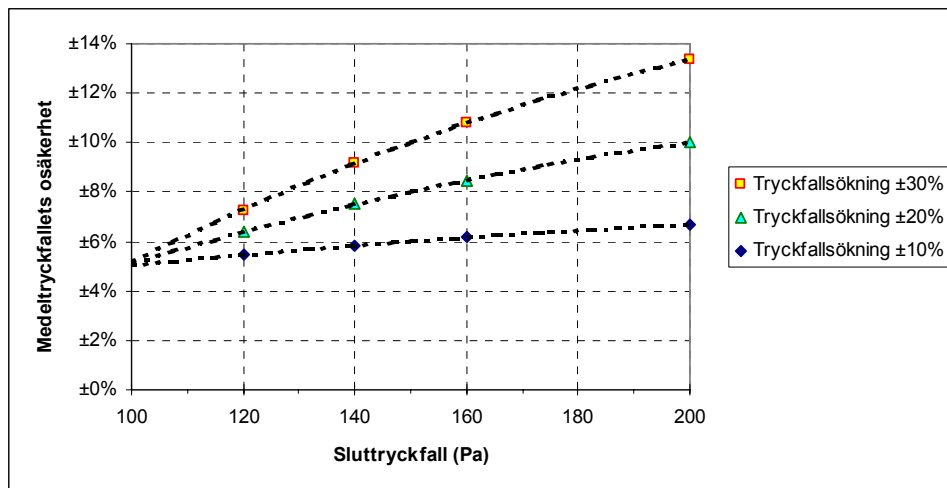
Exemplet ovan är ett rätt grovt försök att finna en länk mellan testdata från SS EN 779 provningar och filter i drift. Resultaten antyder att metoden skulle kunna vara en framkomlig väg. För att ta fram en förfinad korrigeringsmetod med bättre precision skulle motsvarande betraktelse behöva göras med data för ett större antal filter av varierande typ och klass. En sådan undersökning skulle även behöva omfatta data för längre driftsperioder än 6 månader. Sådana data måste inhämtas genom långtidsmätningar i fält.

Mätningar skulle också behöva göras i områden med högre stoftkoncentration. Det är rimligt att förvänta sig mindre avvikelser mellan beräknad och uppmätt tryckfallsökning vid hög stoftkoncentration. I en EN779 provning belastas filtret med en betydligt högre stoftkoncentration än i verklig drift (70 mg/m<sup>3</sup>, mer än 1000ggr). Vägledning beträffande uteluftens stofthalt på olika platser kan erhållas från många kommuners miljöövervakningsmätningar och kartläggningar genomförda av Naturvårdsverket.

Alternativ till den ovan indikerade metoden bör studeras. Det är möjligt att metoden skulle kunna förbättras avsevärt genom att helt och hållet utgå från P-märkningsmätningar, istället för testdata enligt SS EN779.

#### **Bedömning av analysens noggrannhet**

Det ovan redovisade exemplet omfattar en förhållandevis kort period om 6 månader. Osäkerheten i den uppskattade tryckfallsökningen, och följaktligen även osäkerheten i det slutligen beräknade medeltryckfallet under filtrets brukstid kommer att bli större för längre perioder. Den relativa osäkerhet i det uppskattade medeltryckfallet kommer dock att bli betydligt mindre än den relativa osäkerheten i tryckfallsökningen. En känslighetsanalys har gjorts och resultatet redovisas i Figur 3.



**Figur 3** Medeltryckfallets känslighet för osäkerheter i den uppskattade tryckfallsökningen vid olika val av sluttryckfall. Diagrammet gäller för filter med begynnelsestryckfallet 100 Pa. Osäkerheten i begynnelsestryckfallet har satts till  $\pm 5\%$ .

Figuren antyder att osäkerheten hos det uppskattade medeltryckfallet kan hållas inom  $\pm 10\%$  om tryckfallsökningen kan bestämmas med en noggrannhet inom  $\pm 20\%$ . Om sluttryckfallet begränsas till maximalt 150 Pa kan tryckfallsökningens onoggrannhet tillåtas uppgå till  $\pm 30\%$  utan att medeltryckfallets osäkerhet blir större än  $\pm 10\%$ .

Allmänt sett kan osäkerheter i analysen få två konsekvenser: Dels kan de leda till att rangordningen av konkurrerande filteralternativ påverkas, dels kan de leda till osäkerheter i den framräknade totalkostnaden.

Ett minimikrav på en metod för uppskattning av medeltryckfall är att rangordningen måste bli rättvisande vid jämförelse av filter av samma typ. Det är dock önskvärt att metoden kan användas för jämförelse mellan olika filtertyper, t ex filter med medium av glasfibrer jämfört med så kallade progressiva syntetmedier.

Själva mätningarna av både tryckfall och stofthållningsförmåga sker normalt med hög noggrannhet (mätosäkerheter på några procent). Mätning sker dock endast på ett individuellt filter av varje sort, och det undersökta filtret antas representera alla filter av samma modell. Det är dock inte orimligt att uppmätt stofthållningsförmåga varierar 10%-15% mellan individuella filter av samma modell. Andra faktorer som bidrar till analysens osäkerhet är:

- Omräkning till andra luftflöden än det nominella
- Antagandet om uteluftens stoftkoncentration

Utvecklingen av en metod för uppskattning av medeltryckfall och slutligen luftfiltreringens totalkostnad måste kvalitetssäkras genom att ovannämnda inverkanseffekter och faktorernas betydelse för slutresultaten klarläggs genom känslighetsanalys.

## 5.2 Exempel på problem i samband med leverantörernas lämnande av uppgifter vid en större upphandling

### Provningsprotokoll

Det är god praxis att som beställare kräva att leverantören skall styrka filtrens tekniska egenskaper med provningsprotokoll enligt gällande filterprovningsstandard. Det är också rimligt att provningen skall vara utförd av en etablerad, välrenommerad och oberoende provningsförrättare. Nedan ges exempel hämtade från genomförda filterupphandlingar.

- Det händer att de deltagande företagen inte kan presentera provningsprotokoll enligt gällande filterprovningsstandard. Istället sänder man in protokoll från egen provning.
- Det förekommer också att leverantören inte kan presentera provningsprotokoll enligt den senaste (mest aktuella) standarden, EN 779:2002. Istället förekommer det att man lämnar in protokoll från äldre inaktuella versioner av samma standard eller till och med från en nu inaktuell testmetod Eurovent 4/9.

### Uppskattning av tryckfallsutveckling

För att elkostnaden för ett filter skall kunna uppskattas någorlunda korrekt krävs uppgift om hur tryckfallet ökar i takt med att stoft ackumuleras i filtret. Det finns härvid olika metoder att tillgå, vilka samtliga dessvärre är mer eller mindre bristfälliga. Även om uppgifterna skulle vara korrekta är de exemplifierade situationerna inte acceptabla eftersom leverantören sällan kan styrka sina uppgifter.

- Vissa leverantörer hänvisar till egna erfarenhetsdata, andra leverantörer saknar erfarenhetsdata.
- Det har förekommit att leverantören hävdar att man för deras filter kunde uppskatta livslängden baserat på "historiska" data från NUTEKS filtertävling 1995-96. Dvs 10 år gamla uppgifter.
- En leverantör har hävdar att man skulle kunna uppskatta tryckfallsutvecklingen för ett F5-filter utifrån testdata för "motsvarande" F6 filter, i brist på testdata för F5-filtret.
- Någon leverantör menar att man får fram ett mer korrekt värde på tryckfallsökningen (och således gör en bättre uppskattning av filtrets livslängd) om det värde på stofthållningsförmågan som fås fram vid provning enligt standard ökas med en faktor mellan 3 och 5. Andra leverantörer menar att man inte kan göra sådana korrekationer.
- Enligt leverantör av filter med s k progressivt medium blir filterprovningens resultatet extra mycket felvisande för denna typ av filter. Filtermediet är tjockare än andra medier och man hävdar att stoft samlas "på djupet" av mediet, inte företrädesvis på ytan. Det grova teststoffet sätter dock snabbt igen filtrets uppströmssida och "progressiviteten" uteblir. Leverantören menar att den stofthållningsförmåga som erhålles från filterprovningen skall multipliceras med en faktor ca 2,5 för att testet skall motsvara resultaten från provning av icke progressiva medier. Man är dock inte villig att lämna ut mätdata som styrker påståendet.
- Testdata från P-märkningen skulle i många fall kunna ge bra vägledning. Leverantörer är dock sällan villiga att lämna ut sådana uppgifter.



**Kommentar:**

Generellt gäller idag att fastighetsförvaltares upphandling av luftfilter ofta är en komplicerad process. Som framgår ovan består svårigheterna dels i att det är oklart hur prestanda för filter från olika leverantörer skall jämföras, dels i att bedömningen av filters livslängd i en anläggning allmänt sett är osäker. Problemet blir särskilt tydligt om man försöker grunda valet av filter på den totala filterkostnaden, uppskattad med hjälp av livscykelkostnadsanalys. En LCC-beräkning blir meningslös och kan i värsta fall leda till att fel beslut fattas om indata till LCC-beräkningarna inte är korrekta.

Det förekommer alltså att filterleverantörer uppger att man bör använda olika former av korrektionsfaktorer för att göra produkten rättvisa. I vissa fall hänvisar man till den erfarenhet som byggts upp kring de egna produkterna och i andra fall till teoretiska beräkningar. Många menar att man inte kan använda data från provning med det syntetiska teststoffet för att beräkna ett filters livslängd

Gemensamt för de olika angreppssätten är att den potentiella kunden har mycket små möjligheter att bedöma rimligheten i uppgifterna. Istället för en enhetlig bedömningsgrund erhåller ofta kunden ett delvis svåröverskådligt och svårbedömbart upphandlingsmaterial, trots att kanske samtliga anbudslämnarens filter provats enligt gällande standard.

Det saknas idag, men finns ett stort behov av, en metod för realistisk bedömning av luftfilter energiekonomiskt och totalekonomiskt, under beaktande av den problematik som beskrivs ovan. Gällande filterprovningsstandard erbjuder inte någon sådan möjlighet trots att den nyligen reviderats (år 2002). Detta förefaller märkligt, eftersom problemet sannolikt är allmänt känt i branschen. Samtidigt kan man konstatera att filtertillverkarna i stor utsträckning styr standardiseringsarbetet på området.



## Litteratur

ANSI/ASHRAE 52.1, "Gravimetric and dust spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter", The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 1992.

ANSI/ASHRAE 52.2, "Method of testing General ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size", The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 1999.

Arnold, B.D., Matela, D.M, Veeck, A.C. (2005), Life-Cycle costing of air filtration, ASHRAE Journal, Vol. 47, No. 11, pp. 30-32, 2005.

ASHRAE (2000) "Air cleaners for particulate contaminants", In: ASHRAE Handbook 2000: HVAC Systems & Equipment, pp.24.1-24.12, The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 2000.

ASTM-F649-80, Practice for secondary calibration of airborne particle counter using comparison procedures

ASTM-F328-98, Standard practice for calibration of an airborne particle counter using monodispersed spherical particles.

Axelsson, R. "Method for accelerated evaluation of air filter media",

Drangsholt, F. "Langtidstesting av filter i virkelig miljø, SINTEF Report STF11 A95027, SINTEF – Klima- og Kuldeteknikk, Trondheim, 1995. Även utgiven på engelska som: STF 11 A95052, "Long-term tests of filters in real environments", SINTEF, Trondheim, Norway, 1995.

EN 1822-1:1998, High efficiency air filters (HEPA and ULPA) - Part 1: Classification, performance testing, marking

EN ISO 5167-1:1995, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices - Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full (ISO 5167-1:1991)

EN779, "Specifications for particulate air filters for general ventilation – Requirements, testing, marking, CEN Brussels, 1993.

PrEN779, "Particulate air filters for general ventilation, Determination of the filtration performance", CEN, Brussels, 2001

EUROVENT 4/9, "Method of testing air filters used in general ventilation for determination of fractional efficiency", EUROVENT/CECOMAF, Paris, 1997.

EUROVENT 4/10, "Recommendation for in situ determination of fractional efficiency of general ventilation filters", Eurovent, Paris, 1996. EUROVENT/CECOMAF, Paris, 1997.

EUROVENT (1999) Recommendation concerning calculating of life cycle cost for air filters, Eurovent/CECOMAF.

FiSIAQ (2001), Classification of indoor climate 2000: Target values, design guidance and product requirements, Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate, Espoo, Finland.

Fransson, J.I, Ruud, S. Rosell, L. (1995) Rena ventilationskanaler, SP-Rapport 1995:38, Borås.

Frydenlund, F., Haugen, E., Kristiansen, O., Lysne, H.N., Ahlén, C. Hanssen, S.O. (1999) Study of used ventilation filters under dry and wet conditions, Proceedings of Indoor Air 99 Conference, Edinburgh, Scotland.

Förordning 2001:527 om miljö kvalitetsnormen för utomhusluft, SFS 2001:527, Miljödepartementet, 2001.

Gustavson, J., "Test methods and classification of air filters", Camfil, 1996.

Gustavson, J. "Air filters for ventilation systems – Laboratory and in situ testing", International Nonwovens Journal, INDA (www.inda.org).

Hinds, W., "Aerosol technology: properties, behaviour, and measurement of airborne particles, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1998.

IHRIS (2001) Luftfilter – Ventilationsanläggningar, Indoor Health Research Society.

ISO 2854:1976, Statistical interpretation of data; Techniques of estimation and tests relating to means and variances

ISO 12103-1:1997, Road vehicles - Test dust for filter evaluation - Part 1: Arizona test dust

Johansson, J.H.P. och Rosell, L. (1998) Ger smutsiga luftfilter försämrade tilluft?, SP-Rapport 1998:10, Borås.

Kvarnström, C, Jonsson, F (1998) "Provning av partikelfilter: Tillverkning och funktionskontroll av provrigg samt test av ett nyutvecklat elektrostatisfilter", Examensarbete E141:1998, Installationsteknik, Chalmers.

Kvernes, M. (2003) Pollen och pollenallergen i inomhusmiljön: Metodik för och resultat av laboratorie- och fältmätningar med tonvikt på partikelfilters funktion, Licentiatrapport, Dokument D2003:2,, Installationsteknik, Chalmers.

Lehtimäki, M. "Development of test methods for electret filters, Nordtest report – NT TECHN REPORT 320, Espoo, Finland, 1996.

Matson, U. (2004) Ultrafine Particles in indoor air, Doktorsavhandling, Dokumentserie 2204, Installationsteknik, Chalmers.

Mysen, M. Clausen, G., Beko, G. Halas, O. (2003) The influence of typical ways of operating an air-handling unit on the sensory pollution load from used bag filters, Proc. of the Healthy Buildings 2003 Conference, pp. 267-272, Singapore.

Möritz, M., Peters, H., Nipko, B., Rüdén, H. (2001) Capability of asir filters to retain airborne bacteria and molds in heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems.

Nordtest Method NT VVS 117, "Electret filters: Determination of the electrostatic enhancement factor of filter media", Nordtest, Espoo, Finland, 1998.

Nordtest Method NT VVS 128, "Ventilation Filters: Field test of efficiency", Nordtest, Espoo, Finland, 2001.

SP-Method 1937, "Long term characteristics of air filters", SP, Swedish National Testing- and Research Institute, Borås, Sweden.

Strøm-Tejsen, P. Clausen, G. Toftum, J. (2003) Sensory pollution load from a used ventilation filter at different airflow rates, Proc. of the Healthy Buildings2003 Conference, pp. 257-261, Singapore.

Södergren, D. ”Prov av luftfilter vid Huddinge sjukhus”, Byggforskningsrådet, Stockholm 1997.

## Bilaga 1 Exempel på samband för beräkning av årlig energikostnad och tryckfall.

Den årliga elkostnaden beräknas enligt ekvation B1. Medeltryckfallet bestäms enligt procedur som beskrivs nedan. Övriga parametrar har ansatts enligt uppgifter i avsnitt 2.2.

$$\text{Elkostnad} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{\text{medel}}}{\eta} \tau \cdot \text{elpris} \cdot 10^{-3} \quad \text{Elkostnad} \quad [\text{SEK/år}] \quad \dots (\text{Ekv. B1})$$

där :

$$\dot{V} = \text{lufflöde} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\Delta p_{\text{medel}} = \text{medeltryckfall under året} \quad [\text{Pa}]$$

$$\eta = \text{total fläktverkningsgrad} \quad [-]$$

$$\tau = \text{drifttid} \quad [\text{timmar}]$$

$$\text{elpris} \quad [\text{SEK/kWh}]$$

Tryckfallsökningen beräknades månad för månad, och årets medeltryckfall bestämdes som medelvärdet av 12 månadsvärden. Beräkningsproceduren utgår från den hastighet med vilken stoft samlas upp av filtret, *Stoftsamling*.

$$\text{Stoftsamling} = \dot{V} \cdot C_{\text{ute}} \cdot E_{\text{vikt}} \cdot 3600 \quad [\text{g/h}] \quad \dots (\text{Ekv. B2})$$

där :

$$\dot{V} = \text{lufflöde} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$C_{\text{före}} = \text{stoftkoncentration uppströms filtret} \quad [\text{g/m}^3]$$

$$E_{\text{vikt}} = \text{viktavskiljning} \quad [-]$$

För det nominella fallet, som definieras av förhållandena vid provning av filtret beräknades tryckfallens ökning med tiden enligt ekvation B3,.

$$d\Delta p_{\text{nom}} = \frac{\Delta p_{\text{slut}}^{\text{nom}} - \Delta p_{\text{beg}}^{\text{nom}}}{\text{Stofthållning}} \text{Stoftsamling} \quad [\text{Pa/h}] \quad \dots (\text{Ekv. B3})$$

där :

$$\Delta p_{\text{slut}}^{\text{nom}} = \text{nominellt sluttryckfall – från provning} \quad [\text{Pa}]$$

$$\Delta p_{\text{beg}}^{\text{nom}} = \text{nominellt begynnelsetryckfall – från provning} \quad [\text{Pa}]$$

$$\text{Stofthållning} = \text{Uppsamlad mängd stoft vid 250 Pa} \quad [\text{g}]$$

Tryckfallet för det aktuella driftfallet som funktion av tiden kan beräknas enligt ekvation B4.

$$\Delta p_{(t)} = (\Delta p_{beg}^{nom} + d\Delta p_{nom}) k_{\dot{V}} \quad [Pa] \quad \dots (Ekv. B4)$$

där :

$$\Delta p_{beg}^{nom} = \text{nominellt begynnelsetryckfall} - \text{från provning} [Pa]$$

$$\Delta p_{beg}^{nom} = \text{nominellt begynnelsetryckfall} - \text{från provning} [Pa]$$

$$k_{\dot{V}} = \text{Korrektion för annat flöde än det nominella} [-]$$

I ekvationen ovan återfinns en korrektionsfaktor för annat luftflöde än det nominella. Denna kan bestämmas med hjälp av ekvation (B5), nedan, vilken baseras på antagandet att tryckfallet är proportionellt mot luftflödet upphöjt till en exponent, n. Exponentens värde ligger någonstans mellan 1 och 2. För F7-filter av glasfibrer kan ofta värdet n=1,5 användas. En preliminär känslighetsanalys tyder på att beräkningsresultatet, framför allt i form av rangordning av konkurrerande filteralternativ, normalt endast påverkas i liten omfattning.

$$k_{\dot{V}} = \left( \frac{\dot{V}_{drift}}{\dot{V}_{nom}} \right)^n \quad [-] \quad \dots (Ekv. B5)$$

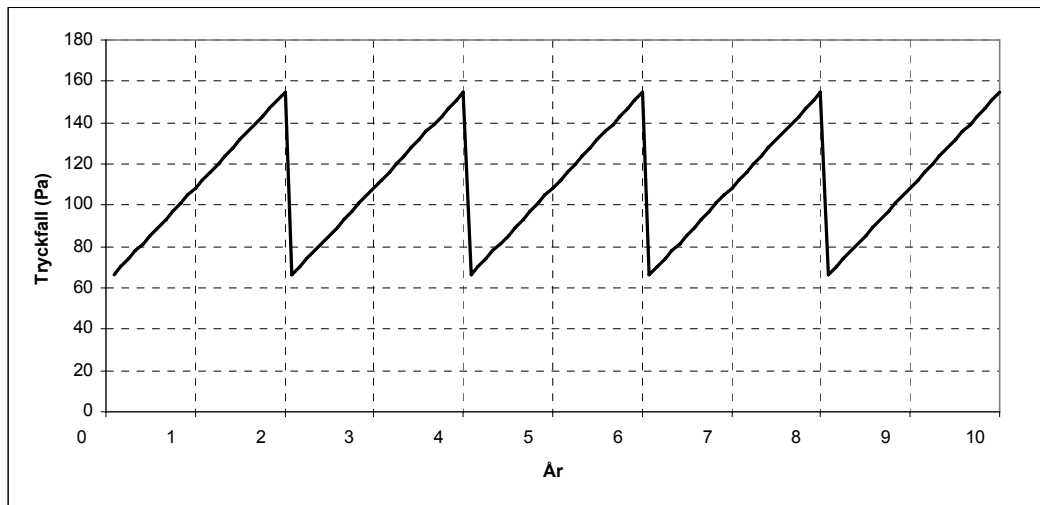
där :

$$\dot{V}_{drift} = \text{verkligt luftflöde} - \text{normaldrift} [m^3/s]$$

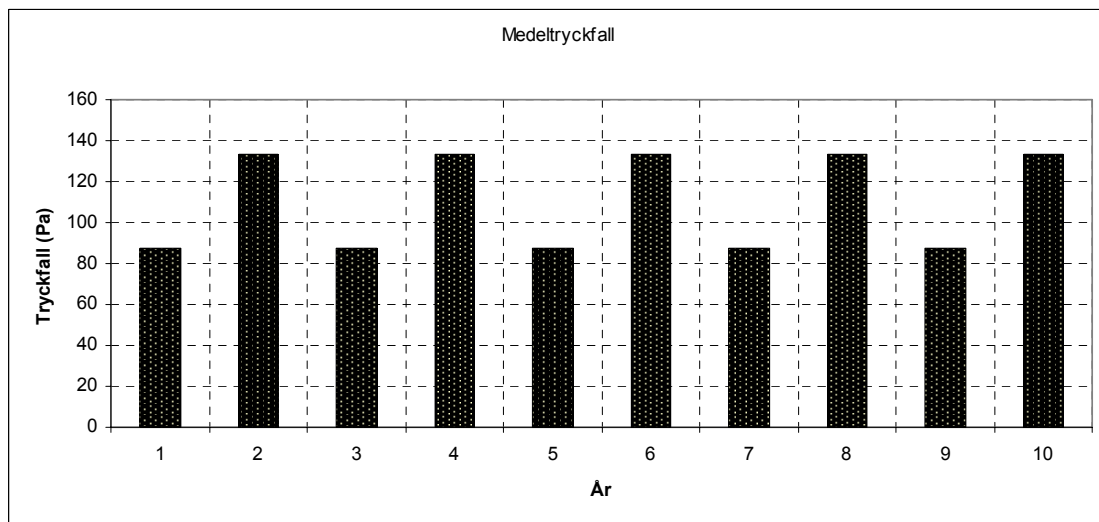
$$\dot{V}_{nom} = \text{nominellt luftflöde} - \text{från provning} [m^3/s]$$

$$n = \text{exponent} [-]$$

I Figurerna B1.1 och B1.2 redovisas exempel på resultat av beräkningar enligt sambanden ovan.



**Figur B1.1** Exempel på beräknad tryckfallsutveckling för förfilter av klass F7 med 2-års bytesintervall. Luftflöde  $0,8\text{m}^3/\text{s}$ . Nominellt begynnelsestryckfall enligt testprotokoll är 80 Pa och stofthållningsförmåga vid 250 Pa är 390 gram. Stofthållningsförmågan har inte korrigerats enligt metod beskriven i kapitel 5. Filtrets viktavskiljning är 99%. Uteluftens stoftkoncentration sattes till  $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  (mikrogram per kubikmeter). Drifttid 8760 timmar per år. Exponenten  $n = 1,5$ .



**Figur B1.2** Beräknade årliga medeltryckfall för förfilter av klass F7 med 2-års bytesintervall. Förutsättningarna är samma som för Figur B1.1.