

Dokumentinformation

Titel: Mätning av farthinders funktion
- utveckling av metod för studier av åkkomfort

Serie nr: 2006:06

Författare: Leif Linderholm
Johanna Bengtsson
Lotten Backström

Bidragsgivare: Skyltfonden, c/o Vägverket

Dokumenthistorik:

| Version | Datum | Förändring | Distribution |
|---------|------------|------------|--------------|
| 1.0 | 2006-02-25 | | Beställaren |

Förord

Fysiska farthinder ger ansvariga väghållare en möjlighet att styra hastigheterna på lämpligt sätt m h t trafiksäkerheten. Det är dock viktigt att respektive farthinder fungerar på det sätt som eftersträvas. Det innebär normalt att hindret ska ge lågt obehag vid passage i avsedd hastighet eller lägre, men högt obehag vid passage i hastigheter däröver. Fungerar farthinder på annat sätt blir de med rätta ifrågasatta. Tyvärr har många dåligt byggda farthinder på senare tid skapat en växande opinion mot farthinder, vilket inneburit en stor återhållsamhet i utbyggandet som inte direkt gynnar trafiksäkerhetsutvecklingen. Med detta arbete har vi velat skapa ett hjälpmedel där väghållaren på ett enkelt sätt kan kontrollera sina farthinders funktion eller också genom tester ta fram nya åtgärder som på ett bättre sätt fungerar som man tänkt.

Den föreliggande metoden har utvecklats med stöd från Skyltfonden. Vi hoppas att metoden kan komma till nytta i många sammanhang. Har man bara tillgång till en relativt modern bärbar dator, så kostar övrig utrustningen bara omkring 15.000 kr. Ta kontakt med oss på Trivector så ser vi till att ta fram den åt Er.

Tekn dr Leif Linderholm har varit ansvarig för arbetet på Trivector. Civ ing Jan Hammarström och teknologerna Johanna Bengtsson och Lotten Backström har ansvarat för genomförandet. Johanna och Lotten har använt sitt arbete som examensarbete vid Campus Norrköping. Utrustningen har byggts ihop av civ ing Thord Lundgren.

Lund februari 2006
Trivector Traffic AB

Sammanfattning

Att dämpa hastigheterna till 30 km/h i våra tätorter är den mest kostnadseffektiva trafiksäkerhetsåtgärden av alla som kommunerna för närvarande har att tillgå. Att trafikanterna sedan har svårt att följa hastighetsgränsen 30 km/h blir därmed ett problem. Därför krävs normalt att farthinder anläggs om hastigheten ska komma ner till önskad nivå. Men tyvärr finns det alltför många slitna och dåligt byggda farthinder i vårt land som har fått en felaktig funktion. Uppfattningarna om och attityderna till hastighetsdämpande åtgärder blir därför lätt negativa, vilket också påverkar politikernas och tjänstemäns vilja att utnyttja farthinder för hastighetsdämpning i trafiksystemet.

Syftet med detta projekt är att ta fram en utrustning och en metod som kan hjälpa väghållaren att objektivt mäta sina farthinders funktion. Syftet är vidare att metoden ska vara enkel och utrustningen billig att införskaffa. Tack vare **stöd från Skyltfonden** har detta arbete kunnat genomföras.

När ett fordon färdas på ojämn väg eller över/genom ett farthinder, utsätts passagerarna i fordonen för krafter i form av vibrationer. Dessa vibrationer består i sin tur av accelerationer i tre riktningar, två horisontella och en vertikal. Tillräckligt starka vibrationer skapar obehag. Ett idealiskt farthinder ger lågt obehag i hastigheter under den som eftersträvas och högt obehag när man kör fortare än den hastighet som eftersträvas. På så vis får man de allra flesta att välja den önskvärda hastigheten.

Utrustning har utvecklats för samtidig mätning av accelerationskrafter i de tre riktningarna. Den totala beräknade vibrationskraften (m/s^2) är summan av de tre accelerationerna under den tid kraftpåverkan pågår. Drygt 50 personer har deltagit i olika tester för att studera samband mellan total kraftpåverkan och upplevt obehag. De har färdats över tretton olika farthinder i olika hastigheter.

Studierna visar att det finns ett klart samband mellan graden av uppmätta vibrationskrafter enligt denna metod och det upplevda obehaget, framför allt för farthinder som gupp av olika slag. En redan nu användbar sambandsmodell har tagits fram för funktionsstudier av denna typ av farthinder. Sambandet är oberoende av kön, ålder och om man är förare eller passagerare. Det som dock påverkar skalan är vilket fordon man använder. Vissa fordon dämpar vibrationskrafterna mer än andra. Vid praktisk användning av den framtagna modellen måste man vara medveten om detta och utföra studierna med samma fordon så att resultaten från olika farthinder kan bli jämförbara. Man bör inledningsvis också genomföra några tester så att man "kalibrerar" fordonet till modellen.

Studierna visar att farthinder som byggts efter samma ritning har sällan samma funktion i verkligheten. Även prefabricerade farthinder kan få olika funktion beroende på detaljer i hur de slutligen anlagts. Detta visar på behovet av att göra funktionskontroller även på nya farthinder.

Genomförda jämförelser av funktionen hos cirkulära gupp, plåtågg och busskuddar visar att de cirkulära guppen har bäst förutsättningar att efterlikna det ideala farthindrets funktion.

Mätutrustningen som utvecklats består av en liten burk kallad Acc4 som innehåller två accelerometrar och en mikroprocessor. En accelerometer mäter accelerationer i horisontell led och den andra mäter accelerationer i vertikal led. Loggningen sker samtidigt i alla riktningar med hastigheten 20 mätningar/sekund. Fordonets hastighet och position erhålls med hjälp av en GPS-mottagare. Informationen från GPS-mottagaren och Acc4:an överförs till en bärbar dator. Accelerometrarna och GPS-mottagaren strömförsörjs med bilbatteriet genom cigarettuttaget. Kostnaden för utrustningen och programvara är ungefär 15.000 kronor (exkl bärbar dator).

Innehållsförteckning

Förord Sammanfattning

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Inledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Syfte | 5 |
| 2. | Farthinder | 7 |
| 2.1 | Ideal funktion | 7 |
| 2.2 | Första testerna | 8 |
| 2.3 | Olika typer av vägbulor | 9 |
| 2.4 | Bussresenärer och vägbulor | 11 |
| 2.5 | Andra typer av farthinder | 12 |
| 2.6 | Fordonsskador av farthinder | 13 |
| 3. | Vibrationer | 15 |
| 3.1 | Bakgrund | 15 |
| 3.2 | Teori | 15 |
| 3.3 | Påverkan på människan | 17 |
| 3.4 | Komfort | 18 |
| 3.5 | Regler och föreskrifter | 19 |
| 4. | Utveckling av metod för mätning | 25 |
| 4.1 | Framtagning av mätutrustning | 25 |
| 4.2 | Beräkning av total påverkan | 29 |
| 4.3 | Test av utrustning och mätmetod | 29 |
| 5. | Samband mellan vibration och upplevt obehag | 35 |
| 5.1 | Testupplägg och pilotstudie | 35 |
| 5.2 | Huvudstudien | 37 |
| 5.3 | Samband mellan totalkraft och obehag vid passage av farthinder | 37 |
| 5.4 | Samband mellan totalkraft och obehag vid passage av cirkulationsplats | 43 |
| 5.5 | Vald modell | 44 |
| 6. | Mätning av farthinders funktion | 47 |
| 6.1 | Studieupplägg | 47 |
| 6.2 | Cirkulära gupp | 47 |
| 6.3 | Platågupp | 49 |
| 6.4 | Bussskudde | 52 |
| 7. | Slutsatser och kommentarer | 55 |
| 8. | Referenser | 57 |

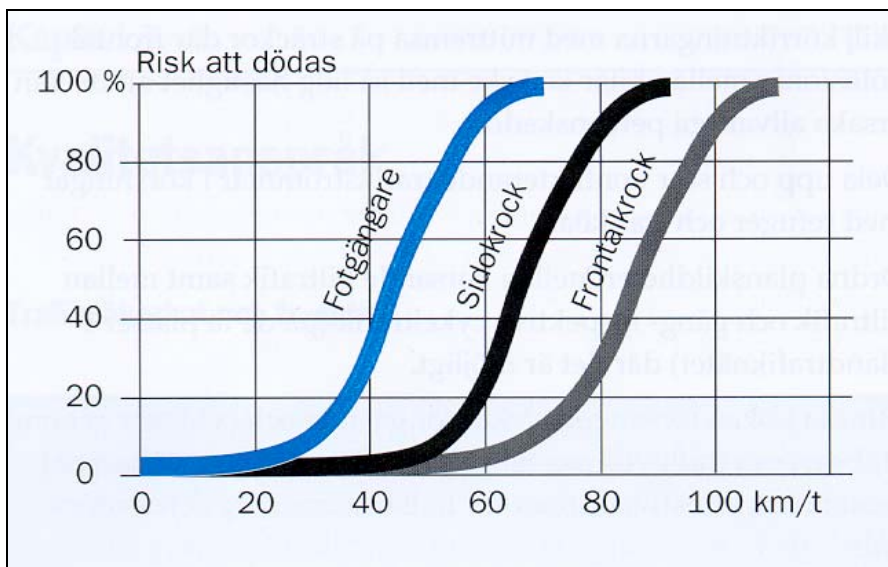
1. Inledning

1.1 Bakgrund

Hastigheten har stor betydelse för trafiksäkerheten. Det finns ett starkt samband mellan medelhastighet och antal olyckor och konsekvenser av dessa. Forskningsstudier visar att:

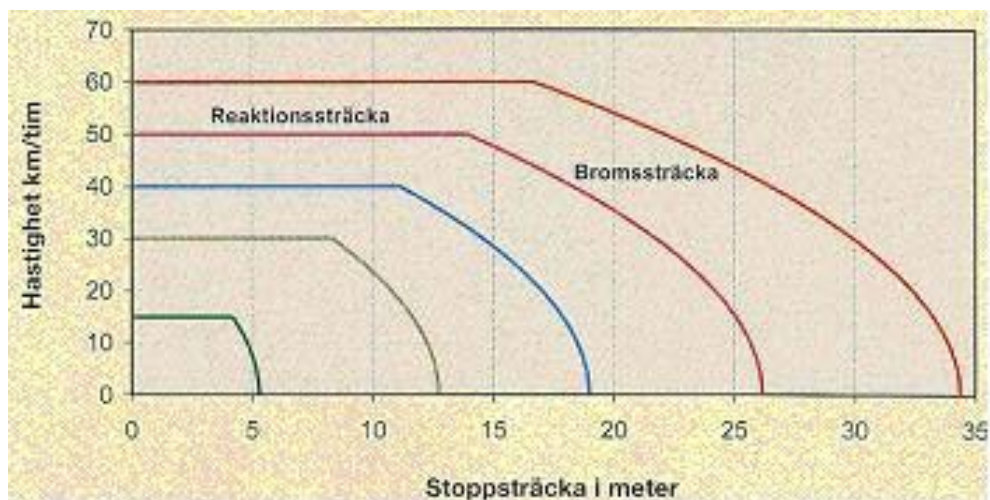
- med högre medelhastighet ökar antalet olyckor,
- med högre medelhastighet blir konsekvenserna allvarigare,
- med stor varians i hastighet blir antalet olyckor fler.

I figur 1:1 visas sambandet mellan det krockvåld en fotgängare utsätts för vid olika kollisionshastigheter och risken att dödas. Risken för att en fotgängare ska dödas vid en kollision är ca 8 gånger högre vid kollisionshastigheten 50 km/h än vid 30 km/h.



Figur 1:1 Samband mellan kollisionshastighet och risk att dödas. (källa: Lugna Gatan).

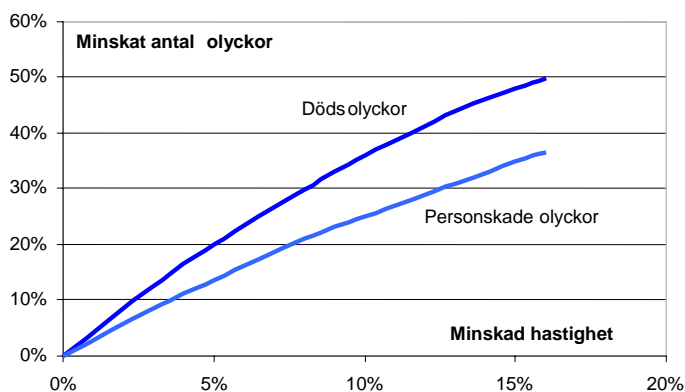
Reaktionstiden utgör ofta en väsentlig del av den totala stoppsträckan. Ofta hinner föraren inte bromsa innan kollisionen är ett faktum. Detta innebär att kollisionshastigheten ofta är densamma som färdhastigheten. I figur 1:2 illustreras hur reaktionstiden påverkar stoppsträckan.



Figur 1:2 Samband mellan hastighet och stoppssträcka¹.

Om en fotgängare oväntat går ut på gatan när fordonet är mindre än 8 m bort kommer inte föraren att hinna bromsa, vilket gör att kollisionshastigheten kommer att vara densamma som den hastighet han kör i, d v s 30 km/h eller 50 km/h. Om en fotgängare går ut på gatan när fordonet är 13-14 m bort, kommer fordonet som kör i 30 km/h att hinna stanna, medan fordonet som kör i 50 km/h inte hinner påbörja sin inbromsning. Risken att dödas vid kollision i 50 km/h är ca 70 %. Vid 30 km/h är risken 0-10 %.

I Norge har man sammanställt resultat från en mängd olika undersökningar där säkerhetseffekten av en hastighetsreduktion studerats². Sammanställningen visar förhållandet mellan hastighetsreduktion och olycksreduktion. Den procentuella förändringen av döds- och personskadeolyckor är större än hastighetsförändringen.

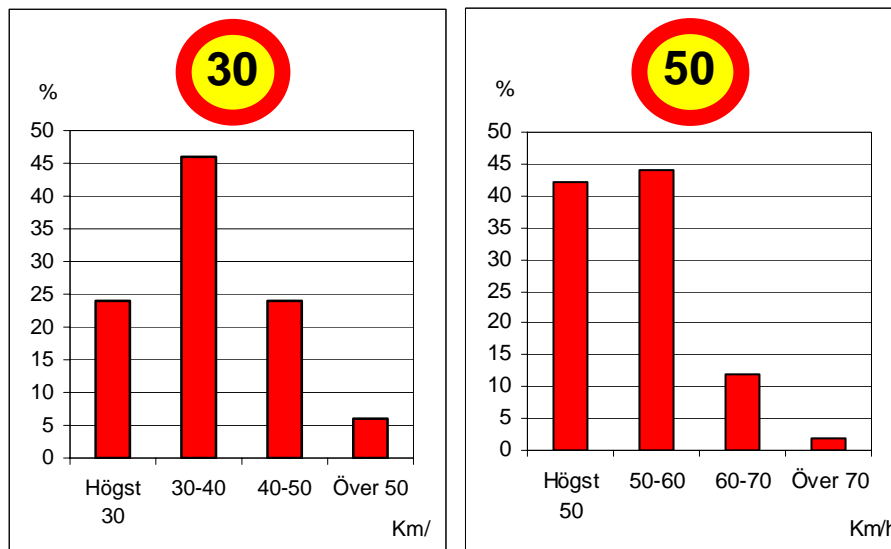


Figur 1:3. Samband mellan hastighetsreduktion och olycksreduktion. Observera att diagrammet visar genomsnittliga värden och att viss spridning naturligtvis förekommer.

¹ Källa: Spolander, Krister (1999). Staden Bilen Farten. NTF:s Förlag och Servica AB.

² Effektkatalog för trafiksikkerhetstilltak, TØI-rapport 572/2002, Elvik, R, m fl.

Enligt den norska studien är en hastighetsbegränsning till 30 km/h i tätorter den mest kostnadseffektiva åtgärden av alla man för närvarande har att tillgå. Det förutsätter i och för sig att hastigheten också hålls. Endast hastighetsbegränsningar har dock oftast visat sig inte hjälpa för att åstadkomma tillräckligt låga hastigheter. Resultat från hastighetsmätningar i hela landet, som VTI sammanställt, visar att över hälften av trafikanterna inte följer fartgränserna, se figur 1.4. Enligt studien kan man i medeltal räkna med att endast ca 25 % av bilisterna håller 30-begränsningen och att ca 30 % överskrider 40 km/h. Därav kommer också kraven på att hastighetsbegränsningen bör kompletteras med fysiska åtgärder.



Figur 1:4 Andel som följer fartgränserna 30 km/h respektive 50 km/h³.

Orsakerna till att respekten är dålig är skiftande. Många bilister tycker säkert att denna hastighet är för låg m h t den gatustandard som råder och kör medvetet för fort. Andra är däremot inte medvetna om att de verkligen kör för fort, kanske av samma skäl, därför att det är svårt att hålla hastigheten 30 km/h. Men det är ett känt faktum att skyltarna inte alltid uppmärksammas i en komplicerad trafikmiljö. Farthinder däremot påminner föraren om förhållandena.

I oktober 1997 antog riksdagen propositionen ”Nollvisionen och det trafik-säkra samhället”⁴. Nollvisionen innebär att ingen på sikt ska dödas eller skadas allvarligt på vägarna. Det är i grunden en fråga om etik; att det är oacceptabelt med dödsoffer i vägtrafiken. Nollvisionen utgår från att trafik-

³ Källa: Vägverket och NTF, Hastighetsgränserna ger säkerhet och miljövinster

⁴ Nollvisionen och det trafiksäkra samhället, Proposition 1996/97:137

olyckor inte alltid kan förhindras, men att riskerna och konsekvenserna av mänskliga fel begränsas så att olyckorna inte leder till dödsfall och allvarliga skador.

Tidigare har det största ansvaret för trafikolyckor lagts på den enskilde trafikanten. Nollvisionens synsätt innebär att ansvaret läggs på alla som påverkar och deltar i vägtrafiken: trafikanter, väghållare såsom kommuner och Vägverket, fordonstillverkare m fl. I kommunen ligger ansvaret framför allt på de politiker som fattar beslut om samhällsplanering och trafikfrågor och som förverkligar transportsystemets utformning. Det delade ansvaret mellan trafikant och systemutformare bygger på följande principer:

- Utformarna av systemet har alltid det yttersta ansvaret för vägtransportsystemets utformning, skötsel och användning och har därmed tillsammans ett ansvar för hela systemets säkerhetsnivå.
- Trafikanterna har ansvar för att följa de spelregler som systemutformarna ställer upp för användningen av vägtransportsystemet.
- Om trafikanterna inte följer spelreglerna – t ex på grund av bristande kunskap, acceptans eller förmåga – eller om personskador uppstår, måste systemutformarna vidta ytterligare åtgärder i den mån detta krävs för att motverka att människor dödas eller skadas allvarligt.

För att underlätta kommunernas arbete med Nollvisionen tog man bl a fram två skrifter som innehåller rekommendationer för hur arbetet med Nollvisionen kan genomföras i tätorter; ”Säkrare trafikmiljö i tätort”⁵ och ”Lugna gatan”⁶. Dessa innehåller bl a principer för högsta acceptabla hastighet och fysisk utformning utifrån gatans användningsområde. Här anges bl a att på en blandtrafikgata i lokalnätet bör högsta hastighet vara 30 km/h och på en gata med gång- och cykelbanor kan högsta hastigheten 50 km/h accepteras där det inte finns behov för gående och cyklister att korsas. I korsningspunkter mellan gående, cyklister och biltrafikanter ska dock hastigheten inte överstiga 30 km/h. Denna rekommendation utgår från det samband som finns mellan fordonshastighet och dödsrisk vid kollision. De båda skrifterna är inarbetade i den nu gällande handboken TRAST (TRafik för en Attraktiv STad).

Att åstadkomma de önskvärda hastighetsnivåerna i tätortstrafiken är dock mycket svårt utan olika typer av farthinder. Samtidigt är det idag en allmän uppfattning bland experterna att det svenska beståndet av hastighetsdämpande åtgärder alltför ofta är felaktigt utförda eller p g a bristande underhåll inte fungerar på det avsedda sättet. De skapar ibland större obehag i låga hastigheter än i höga, de orsakar ibland större obehag för kollektivtrafik och utryckningsfordon än nödvändigt, och ibland kan den hastighetsdämpande effekten vara obetydlig.

⁵ Säkrare trafikmiljö i tätort, 1997, Kommunförbundet, Vägverket, Rikspolisstyrelsen

⁶ Lugna gatan, 1998, Svenska kommunförbundet

Uppfattningarna om och attityderna till hastighetsdämpande åtgärder i gatumiljöerna går ofta isär. Politiker, tjänstemän, yrkesförare och vanliga trafikanter bildar sig sin egen uppfattning, dels mot bakgrund av den kunskap man har om åtgärdernas syfte, dels på den egna erfarenheten i trafiken, men också på vad andra tycker. Den egna erfarenheten skapas då man själv passerar dessa åtgärder. Passerar man ofta felaktigt fungerande åtgärder blir också inställningen till hastighetsdämpande åtgärder generellt mer negativ. Den negativa inställningen har ökat på senare tid enligt flera kommunala tjänstemän. Detta är en olycklig utveckling med hänsyn till nollvisionen och de ambitioner som finns i Lugna Gatan och TRAST att säkra olika trafikmiljöer i tätorterna.

Det är därför väsentligt att vägghållarna har möjlighet att objektivt mäta vilken effekt olika hastighetsdämpande åtgärder har. Då ges det möjlighet att skapa en utformningsstandard för åtgärder med rekommendationer för i vilka trafiksammanhang olika åtgärder passar bäst. En objektiv mätningen ger också vägghållaren en möjlighet att kontrollera att nyproducerade åtgärder uppfyller uppställda krav. En objektiv mätning ger dessutom möjlighet att sätta en standard för vilken frekvens och vilken amplitud i obehag som en yrkesförare kan utsättas för (bussförare i linjetrafik).

Olika typer av fordon fungerar olika när det gäller sambandet mellan komfort och hastighet över hastighetsdämpande åtgärder. I bussar och lastbilar utsätts förarna och passagerarna i allmänhet för större obehag än förare och passagerare i en personbil vid samma hastighet. I dagens läge saknas kunskap om hur utformningen av en hastighetsreducerande åtgärd påverkar förarnas obehag.

Det bör finnas ett samband mellan de krafter en förare eller en passagerare utsätts för vid passage av en hastighetsreducerande åtgärd och det obehag de upplever. Obehaget som upplevs är en funktion av de krafter som föraren respektive passageraren utsätts för i de olika riktningarna. Om krafterna mäts kan ett objektivt mått på obehaget erhållas.

1.2 Syfte

Syftet med detta projekt är att ta fram en utrustning för objektiv mätning av de påfrestningar en förare eller passagerare utsätts för vid passage av hastighetsdämpande åtgärd. Meningen är att vägghållaren får tillgång till en enkel metod att på egen hand kunna kontrollera kvalitén på utförda åtgärder. Syftet är vidare att metoden som används ska vara enkel och utrustningen billig att införskaffa.

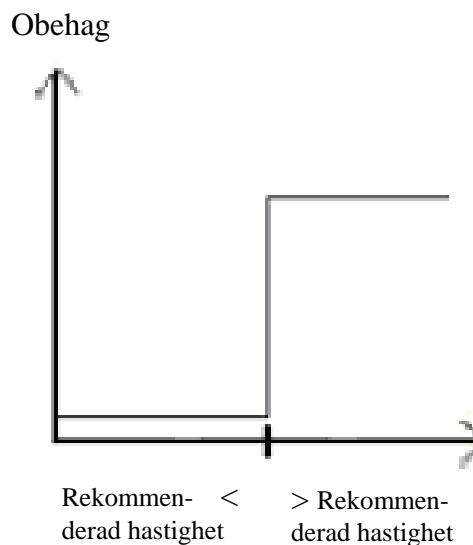
2. Farthinder

2.1 Ideal funktion

Ett farthinder ska helst fungera så att obehaget är lågt när man passerar i högsta acceptabla hastigheten eller lägre, men högt obehag vid överskridandet av den acceptabla hastigheten, se illustrationen i figur 2:1.⁷ Normalt används farthinder för att åstadkomma hastigheter under 30 km/h, men det är inte ovanligt med farthinder även för högre hastigheter.

Danska studier visar att krafter med toppvärden upp till 0,7 g (6,9 m/s²) för den vertikala accelerationen tolereras vid passage av ett gupp. Toppvärde innebär det högsta värdet en förare och passagerare utsätts för vid ett gupp.⁸ Vidare säger man att guppen bör generera värden över 0,5 g (4,9 m/s²) för att effektivt kunna reducera hastighet.

Vertikala hastighetsreducerande åtgärder, såsom gupp, busskuddar och ramper, har hitintills visat sig vara de mest effektiva sätten att reducera hastigheten på en gata. De vertikala åtgärderna är också förhållandevis billiga att anlägga vilket har bidragit till att de är de vanligaste förekommande konstruktionerna.⁹



Figur 2:1 Vägbulors ideala utformning

⁷ Kävestam, Henrik & Malkki, Tony (1986). *Vägbulor – geometriska förändringar med tiden*. Chalmers Tekniska Högskola. Kävestam, Henrik & Malkki, Tony (1986).

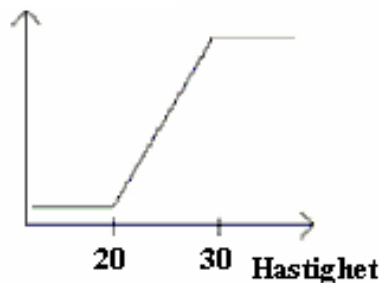
⁸ Kennedy, J et al (2004). *Impact of road humps on vehicles and their occupants*. TRL Limited.

⁹ Svensson, Tomas & Hedström, Ragnar (2003). *Hastighetsdämpande åtgärder och integrerad stadsplanering*. Väg- och transportforskningsinstitutet.

2.2 Första testerna

1973 utförde G. R. Watts ett experiment i England för att studera vägbulors design. Syftet med experimentet var att utforma en vägbulor som effektivt minskade fordonens hastighet till cirka 25 km/h. För att förarna skulle hålla rätt hastighet över vägbulorna ville Watts ha en design som skulle vara bekväm att åka över i låga hastigheter för att sedan konstant bli mer och mer obekvämt vid högre hastigheter, se figur 2:2¹⁰. Vägbulan fick heller inte vara skadlig för vare sig människa eller bil.

Obehag



Figur 2:2 Eftersträvad obehags-hastighetsprofil.

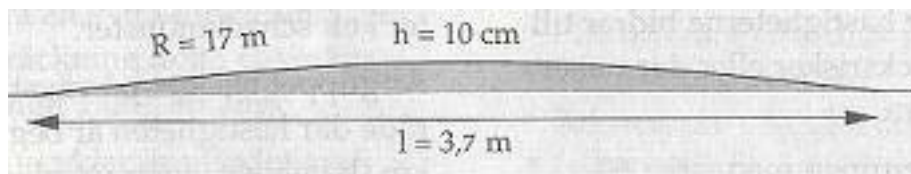
Watts använde sig av flera förare som var och en fick välja en av femton olika vägbulor att färdas över i olika hastigheter. Förarna fick sedan, på en skala mellan noll till sex, uppge hur obekvämt det var. Då fordonen passerade över vägbulorna registrerades även den vertikala accelerationen. Ur dessa mätningar fann Watts att bekvämligheten minskade då den vertikala accelerationen ökade.

Watts använde sig även av olika fordon. Studien visade att det var mer obekvämt att åka över en vägbulor med ett tungt fordon i en viss hastighet än vad det var med en vanlig bil i samma hastighet.

Resultatet av Watts studie visade att det mest effektiva guppet är 3,7 meter långt och har en cirkulär överbyggnad med en radie på c:a 20 meter (ger maxhöjden 0,1 meter), se figur 2:3¹¹. Detta är enligt studierna obekvämt att åka över i hastigheter över 30 km/h. Vid den låga hastigheten 8 km/h är den bekvämt för alla typer av fordon. Watts studie visade att farthindret skulle ge medelhastigheter runt 25 km/h.

¹⁰ Bjarnason, Sigurdur (2004). *Round top and flat top humps*. Lunds Tekniska Högskola.

¹¹ Linderholm, Leif & Svedberg, Åke (1992). *Säkrare trafik i vår kommun*.



Figur 2:3. Det Wattska guppet

2.3 Olika typer av vägbulor

Vägbulor, eller gupp som man vanligtvis brukar säga, är den helt dominerande typen av farthinder. I Sverige används i huvudsak fyra olika typer av gupp:

- cirkelgupp
- plåtågupp
- konkavt gupp
- busskudde

Cirkelgupp

Det vanligast förekommande guppet är cirkelguppet av Watts modell. En personbils hastighet dämpas till ungefär 20-25 km/h. Ett problem med denna vägbula är den markerad brytpunkt i förhållande till vägytan. Detta gör att man vid passagen kan uppleva en stöt i fordonet, vilket är särskilt påtagligt i tyngre fordon. För att undvika detta problem kan man vidta olika typer av modifieringar.

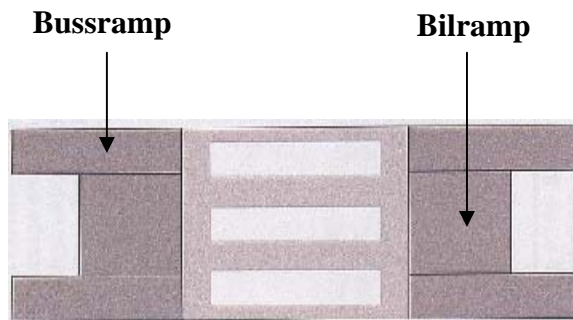
Modifierat cirkelgupp

Modifieringen innebär att på- och avfartskanterna görs mjukare och guppet längre (4-4,5 meter), vilket gör att krafterna, som uppstår vid passage, minskar och komforten ökar. Det modifierade cirkelguppet upplevs av bussförare som bekvämare.

H-gupp

I mitten av guppet finns ett vanligt cirkelgupp, lagom brett för att en bil ska kunna köra över. På kanterna finns ramper som bildar ett flackare cirkelgupp med lagom lutning för att den tunga trafiken ska få samma obehag som biltrafiken vid samma hastighet, se figur 2:4¹². Uppifrån ser guppet ut som ett H, därav namnet.

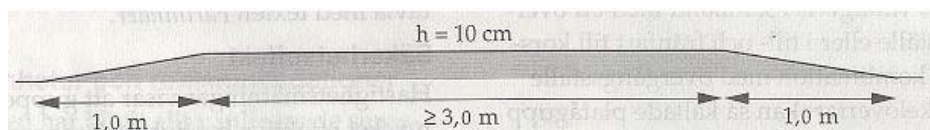
¹² Bussar och Lugna gatan (2000). Skånetrafiken.



Figur 2:4. H-guppets utformning

Platågupp

Ett platågupp är en upphöjd platå med pyramidkanter på upp- och nerfarten, se figur 2:5¹³. Platågupp används normalt i kombination med övergångsställe.



Figur 2:5. Profilen av ett platågupp

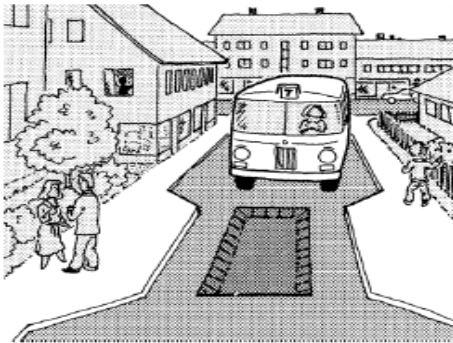
På vägar med mycket busstrafik bör längden på platån vara minst 6,5 meter för att hela bussen ska kunna vila på platån, vilket minskar obehaget för passagerare och förare. På en väg utan busstrafik bör samma avstånd vara minst tre meter (normalbredd på ett övergångsställe).

Konkavt gupp

Konkava gupp är utformade som ett omvänt gupp tillräckligt smal för att breda fordon ska kunna grensla den och tillräckligt smal för att personbilar inte ska kunna passera utan att köra ner i "gropen", se figur 2:6¹⁴. Åtgärden är inte så vanlig eftersom det krävs en avvattningsbrunn i gropen, vilket gör åtgärden dyrare än de konvexa guppen. Konkava gupp används på gator där uttryckningstrafik och/eller busstrafik är vanligt förekommande.

¹³ Linderholm, Leif & Svedberg, Åke (1992) *Säkrare trafik i vår kommun*.

¹⁴ VU 94 supplement 4 - Miljöprioriterad väg (2000).



Figur 2:6. Konkavt gupp (väghåla).



Figur 2:7 Busskudde

Busskudde

I början av 80-talet genomfördes ett antal utvärderingstester på de hastighetsdämpande åtgärderna. Det blev då tydligt att bussar var tvungna att färdas i mycket lägre hastighet än det var tänkt över vägbulorna. För att lösa problemet påbörjades utvecklingen av en ny typ av vägbula i Berlin, så kallade vägkuddar eller busskuddar. Busskuddarna, se figur 2:7, möjliggjorde för bussarna att passera i samma hastighet som personbilarna utan högre obehag. Syftet med busskudden var även att underlätta för cyklister som istället för att åka över kunde cykla bredvid kudden. Busskudden är utformad som en plåtå med pyramidväggar, cirka 1,8 meter bred och 2 meter lång. Personbilarna passerar kudden genom att köra upp på plåtån, medan bussarna kan grensla kudden.¹⁵

2.4 Bussresenärer och vägbulor

Hösten 2001 gjordes en undersökning av åkkomforten på vissa linjer i Göteborg där intervjuer med passagerare utfördes. På dessa linjer finns sträckor både med och utan vägbulor. Syftet med undersökningen var att ta reda på vad passagerarna tyckte om åkkomfort i allmänhet, om missnöje finns och ta reda på vad som i så fall är anledningen till detta.

Resultatet av undersökningen visade att passagerarna överlag var nöjda med många aspekter av åkkomforten som till exempel tillgång till sittplats, sätenas utformning och hur enkelt det är att stiga på och av bussen. Något mer kritiska var de när det gällde aspekter som ljudnivå och klimat. Mest missnöjda var resenärerna med komforten avseende vägstandarden. Det de klagade mest på var att det var för många farthinder och att det blev obekvämt och skumpigt.¹⁶

En grupp som tar stor skada av att åka buss över gupp och liknande är handikappade och sjuka människor. Färdtjänstens fordon är inte anpassade för

¹⁵ Svensson, Tomas & Hedström, Ragnar (2003) se referens 8.

¹⁶ Markung, Benny (2002). Sweco VBB Viak AB. *Konsekvenser av farthinder (gupp / vägbulor)*.

farthinder och detta skapar problem för resenärerna. En undersökning gjordes även på detta område i Göteborg med syftet att göra en ansats att beskriva resenärens upplevelser och uppfattningar om farthinder samt redogöra för vilka problem det medför för resenärerna. Cirka 30 personer med olika handikapp intervjuades.

Av undersökningen framkom att det var mycket stötigt, skumpigt, obehagligt och att det gungade mycket. Resenärerna upplevde detta olika beroende på var i fordonet de satt och förarens körsätt. I taxibilar upplevs oftast bättre komfort än i bussar. Resenärerna tyckte inte att bussarnas stötdämpare var tillräckligt bra för persontransporter. Samtliga testpersoner ansåg att vägbulorna var obehagliga och besvärande, och beroende på vilken skada/sjukdom resenärerna hade varierade efterverkningarna. En del fick oerhörda smärtor som direkt påverkade deras hälsotillstånd. En del resenärer blev trötta i kroppen efter en resa, en del fick inkontinensproblem, hos andra började benen skaka och en del blev sängliggande med starka tabletter för att dämpa smärtorna. Dessa testpersoner upplevde att det inte tagits någon hänsyn till handikappade och sjuka vid införandet av vägbulor.

2.5 Andra typer av farthinder

Punktvisa avsmalningar av körbanan använd ibland som farthinder men har visat sig inte kunna ge någon generell hastighetsdämpande effekt. Det förutsätter i så fall att trafiken har en viss omfattning så att mötessituationer uppkommer relativt frekvent. Det finns heller ingen direkt koppling till fysiskt obehag, vilket detta projekt är fokuserat på. En nackdel med avsmalningar är att förare ibland strävar efter att komma före den mötande trafiken vid avsmalningen för att slippa stanna. Sådana beteenden ger den motsatta effekten i jämförelse med den eftersträvide.

Sidoförskjutningar, som skapas genom parvisa avsmalningar i trafikriktningen, är en annan typ av farthinder med avsikt att skapa obehag genom fordonskrängningar vid passagen. Sidoförskjutningar har nackdelen att de utmanar många förare till att köra snabbt på samma sätt som vid avsmalningar. Denna typ av hinder var vanligare förr, men har oftast bytts ut mot vägbulor p g a de icke önskvärda bieffekterna. De används dock fortfarande på platser där man p g a grundförhållanden (vibrationer) inte kan anlägga vägbulor.

Sidoförskjutningar har inte testats i detta projekt eftersom det saknats sådana inom rimligt avstånd från testområdet. Däremot har effekten av krängning testats i cirkulationer.

2.6 Fordonsskador av farthinder

Många fordon har problem att ta sig över farthinder utan att skadas. Det är framför allt låggolvbussar och ledbussar, men även andra typer av bussar samt utryckningsfordon. För bussar är orsakerna ofta att farthindren är felutformade eller att vägen och hindren är så slitna att spår och sättningar bildats som gör att fordonen stöter i vid passagen. Ytterligare ett problem är när gupp och busskuddar byggs i kurvor, och särskilt i de fall då det även finns en mittrefug. Bussar får då svårt att passera utan att stöta i på någon av sidorna. Att många nya bussar numer är låggolvbussar skapar problem eftersom många gupp är utformade för att passa gamla höga bussar.

Ambulanser och brandbilar har ofta mycket bråttom när de färdas på vägarna och i vissa fall har det rapporterats att utrustning har lossnat inne i fordonen då de inte hunnit sakta ner tillräckligt innan farthindret. Skadade personer som transporterats på bår är särskilt utsatta.

Polisens fordon har ofta skador relaterade till körning över gupp. Skadorna uppstår i huvudsak på fjädrar och stötdämpare.¹⁷

¹⁷ Markung, B. *Konsekvenser av farthinder (gupp / vägbulor)* (2002) Sweco VBB Viak.

3. Vibrationer

3.1 Bakgrund

När ett fordon färdas på ojämn väg eller över vägbulor utsätts passagerarna i fordonen för krafter i form av vibrationer, som kan ge upphov till obehag. Dessa vibrationer består i sin tur av accelerationer i tre riktningar, två horisontella och en vertikal.

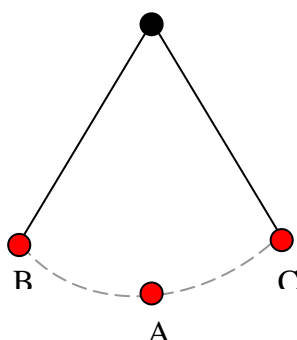
Det finns två huvudtyper av vibrationer som påverkar människokroppen:

- Hand- och armvibrationer
- Helkroppsvibrationer

Hand- och armvibrationer förekommer vanligtvis i samband med arbete med vibrerande maskiner och verktyg som hålls eller stöds av handen, t.ex. bilningshammare, bormaskiner, motorsågar, mutterdragare och gräsklippare. Det kan även förekomma hand- och armvibrationer i styren, rattar och reglage.

Helkroppsvibrationer förekommer när någon sitter, står eller ligger på ett vibrerande underlag. Exponeringen uppträder t.ex. i skogsmaskiner, bussar, flygplan, på tåg och fartyg, men även i arbetslokaler där golvet sätts i rörelse av någon vibrationskälla. På grund av ökad mekanisering har människans exponering för helkroppsvibrationer i arbetet ökat väsentligt under de senaste årtiondena. Förare av truckar och i vissa fall lastbilar, bussar och lok kan ibland exponeras för kraftiga vibrationer. I denna studie ägnas uppmärksamheten åt en speciell typ av helkroppsvibrationer, nämligen de som innehåller enstaka eller upprepade stötar av den typ som kan uppkomma vid passage av farthinder.

3.2 Teori

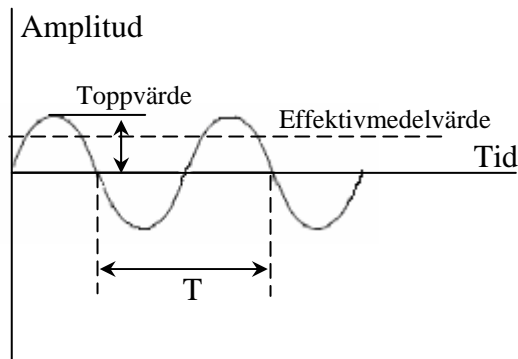


Figur 3:1 Vibrationers svängning

Vibrationer kan definieras som ett föremål som svänger fram och tillbaka kring ett centrum, se figur 3:1. En vibration rör sig från sitt jämviktsläge, A, fram och tillbaka mellan ytterlägena B och C. Denna rörelse kan beskrivas med några fysikaliska mått, nivå, amplitud och frekvens.

Vibrationsnivå

Vibrationens nivå brukar vanligtvis anges i acceleration (m/s^2). I figur 3:2 illustreras pendelns acceleration över tiden.



Figur 3:2 Pendelns acceleration över tiden

Periodtiden, T , beskriver tiden det tar för pendeln att återvända till ursprungsläget. Då pendeln är i ständig rörelse registreras kontinuerligt ett momentanvärde som gör det möjligt att illustrera accelerationen över tiden på ett enkelt sätt, vilket visas i figuren ovan. **Amplituden**, även kallat toppvärde, är det högsta momentanvärdet. Det tas ingen hänsyn till om amplituden är negativ eller positiv utan det är bara det maximala värdet som är intressant.

Effektivvärdet, det kvadratiska medelvärdet, över tidsperioden beskriver vibrationens energiinnehåll per tidsenhet.¹⁸ Värdet beskriver med andra ord vibrationens styrka.¹⁹ Formeln beskrivs nedan.

$$a_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (a(t))^2 dt}$$

där $a(t)$ är momentanvärdet vid tiden t och T är periodtiden.

Vibrationsfrekvens

Frekvensen beskriver vibrationens antal svängningar per sekund och mäts i Hertz (Hz), se formel nedan.²⁰

$$f = \frac{1}{T}$$

Egenfrekvensen beskriver den svängningsfrekvens som, i detta fall pendeln, får efter insvängning av en störning. Om vibrationsfrekvensen överens-

¹⁸ Arbetslivsinstitutet. <<http://umetech.niwl.se/temavibration/vibniva.lasso>> Hämtat 25/8 2005

¹⁹ Granlund, Johan (2000). *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar*. Vägverket – vägavdelningen.

²⁰ Arbetslivsinstitutet. <<http://umetech.niwl.se/temavibration/vibniva.lasso>> Hämtat 25/8 2005

stämmer med systemets egenfrekvens uppstår resonans vilket förstärker vibrationerna. När resonans uppstår når amplituden sitt maximum.²¹

3.3 Påverkan på människan

Vibrationer som överförs till människokroppen förstärks vid vissa frekvenser i olika kroppsdelar och organ och kan då ge upphov till töjningar och hoptryckningar av vävnader. Vibrationernas intensitet, frekvens och riktning är avgörande för uppkomsten av eventuella skador på kroppen. Exponering för helkropps vibrationer kan också vara fysiskt och psykiskt belastande och ge upphov till trötthet och nedsatt prestationsförmåga.

Skador i rygg, skuldror och nacke är ofta följderna av helkropps vibrationer. Vissa studier visar också att helkropps vibrationer kan ge effekter på sinnesorgan, mag-tarm kanal och underliv. Problemet är att skador av vibrationer kan vara svåra att urskilja från annan påverkan, t.ex. olämplig sittställning eller brister i utformning av arbetsplatsen. Ofta är det kombinationen av bristande utformning och vibrationer som ger skador.

Helkropps vibrationer kan, enligt ett stort antal studier, påverka ryggen. Ischias och ryggskott är åkommor som är överrepresenterade bland fordonsförare. De viktigaste orsakerna är dock inte vibrationerna i sig utan kombinationen med oergonomiska och stillasittande arbetsställningar samt tunga och repetitiva lyft. Helkropps vibrationer kan i enstaka fall ge akuta skador och kan uppstå då förare till exempel kör ner i ett hål i underlaget.

Helkropps vibrationer kan även påverka och störa motoriska funktioner och sänka prestationsförmågan. Synskärpan kan försämrats och kontroll av hand- och armrörelser vid manöverarbete kan påverkas. Yrsel och illamående, rörelsesjuka, är vanligt vid frekvenser under 1 Hz vilka ofta uppstår i båtar, helikoptrar och i terränggående fordon.

Akuta effekter på mag- och tarmsystem kan uppstå och i enstaka undersökningar har magsår och magkatarr hos fordonsförare rapporterats. I dessa fall har dock ingen samtida undersökning på matvanor, stress eller arbetstider gjorts. Hos kvinnor som exponerats för helkropps vibrationer har lägesförändringar av organ och menstruationsstörningar rapporterats.²²

Skillnad man/kvinna

Att skador och besvär av vibrationer kan uppstå hos människan är bevisat, men finns det skillnader mellan hur likvärdiga vibrationer påverkar kvinna respektive man? Risken för vibrationsskador är beroende av många faktorer som till exempel arbetsställning, vibrationsnivå och individuell känslighet.

²¹ Granlund Johan (2000). Samma som referens 19.

²² Hylund B, Sonya (1998). *Skador och besvär av vibrationer – en jämförelse mellan kvinnor och män*. Arbetslivsinstitutet.

En faktor som belysts i liten utsträckning är könsskillnader. Detta beror ofta på att kvinnor är underrepresenterade i mansdominerande yrken där vibrationer vanligast förekommer. På grund av detta kan det tyckas mindre intressant att undersöka skillnaden, men stötvisa vibrationer omfattar även bil-/busskörning där kvinnor representerar en betydligt större del.

Det råder inga tvivel om att kvinnor har lägre uthållighet och styrka än män. Det finns också vissa skillnader mellan män och kvinnors proportioner vilket har direkt betydelse då verktyg oftast utformas efter män. Detta leder till att kvinnor riskerar skador och besvär.

Det är bevisat att kvinnor lättare blir sjösjuka än män och särskilt under menstruation och i samband med graviditet. Detta kan bland annat förklaras av hormonpåverkan. Studier har också visat att vibrationer överförs lättare från kroppen till huvudet hos kvinnor. I många studier visas även ett samband mellan underlivsbesvär, såsom inflammationer, menstruationsstörningar och spontanaborter, och vibrationer. Gravida kvinnor som utsätts för helkroppsvibrationer får en 50 % större belastning på ryggraden. Det har också visats att kvinnor tar upp mer energi per volym kroppsmassa. Orsaken till detta är att kvinnor i allmänhet väger mindre än män.

Den magra forskningen kring kvinnor i manliga arbetsmiljöer och vibrationer kan delvis bero på att kvinnor utgör en så liten del att slutsatser inte kan dras. De normer och rekommendationer som finns för komfortgränser vid helkroppsvibrationer är baserade på enbart unga manliga försökspersoner. Detta medför att det saknas vetenskaplig grund för att uttala sig om att det finns en ökad risk för ohälsa hos kvinnor i jämförelse med män som utsätts för vibrationer.²³

3.4 Komfort

Komfort kan definieras som en människas upplevda grad av välbefinnande under en resa. På snabba tåg och i stadstrafik (spårvagn och buss) anses impulsartade rörelser dominera obehagsupplevelsen.²⁴

Komforten i ett fordon beror av många faktorer och för att den ska kunna mätas måste den brytas ner i olika faktorer. Alla har inte heller samma åsikt och krav om vad som krävs för att komforten ska vara bra, acceptabel eller dålig. Den upplevda komforten kan bero på vilka krav föraren har, ålder, fysiska förutsättningar samt om personen i fråga har någon skada eller sjukdom som gör honom/henne extra känslig för något. Skillnader finns också beroende på vilken typ av fordon som diskuteras.

²³ Hylund B, Sonya (1998). Se referens 22.

²⁴ Andersson J, Tage (1988). *Impulsartade rörelser och deras betydelse för resenärens bekvämlighet*. Transportforskningsberedningen.

I en bil beror komforten bland annat på klimat, sätens justerbarhet och utformning, bilens fjädring, ljudnivå, utrymme och vägstandard. I en buss upplevs komforten framför allt vara beroende av hur det fungerar att stiga på och av bussen, säten, benutrymmen, antal sittplatser, hur det fungerar med ståplatser, om det finns något att hålla sig i, klimatet, belysning, ljudnivå, buller och vägstandarder. Många som åker buss är unga människor, pensionärer, och sjuka. Dessa grupper har olika krav på vad som är god respektive dålig standard.²⁵

I denna rapport kommer begreppet komfort att enbart relateras till vägstandard. I vägstandard ingår vibrationer i fordonet bestående av accelerationer, inbromsningar och svängar som orsakas av underlaget som fordonet färdas på.

3.5 Regler och föreskrifter

EU - direktiv

Under sommaren 2002 antogs inom EU ett direktiv om arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker i samband med vibrationer i arbetet, även kallat *Physical agents vibration directive*. Medlemsländerna i EU hade fram till den 6 juli 2005 på sig att överföra detta direktiv till nationella regler. Medlemsländerna har i sina nationella föreskrifter möjlighet att skärpa kraven då detta är ett minimidirektiv, d.v.s. ett direktiv som beskriver den lägsta nivån på krav för hälsa och säkerhet som får förekomma inom EU. Det innebär att nya föreskrifter om vibrationer måste införas, då dagens regler inte uppfyller de minimikrav som beskrivs i direktivet.

Direktiven avser bland annat²⁶:

- Begränsa riskerna för arbetstagares hälsa och säkerhet.
- Innehåller gränser för yrkesmässig vibrationsexponering.
- Exponering för ”kraftiga stötar” ska riktas särskild uppmärksamhet.

Arbetsmiljöverkets nya föreskrifter trädde i kraft den 1 juli 2005. Arbete som innebär exponering för helkroppsvibrationer undantas från kraven t.o.m. den 1 juli 2007, om de inte kan uppfyllas trots beaktande av organisatoriska åtgärder och de senaste tekniska framstegen. Några specifika regler för helkroppsvibrationer finns alltså inte idag, däremot gäller föreskrifterna om systematiskt arbetsmiljöarbete vilka ställer allmänna krav på riskbedömning för arbetstagares arbetsmiljö.²⁷

²⁵ Johansson, Börje (1989). *Komfort i kollektivtrafiken*. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Transportteknik.

²⁶ Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/44/EG (2002).

<http://www.haltagningsentreprenorerna.se/info/filer/eu-direktiv_200244EG-vibrationer.pdf> Hämtat 25/8 2005

²⁷ Arbetsmiljöverkets författningssamling (2005). *Vibrationer*. Maria Hagberg Forss.

ISO-standard 2631-1

Denna standard berör frekvenser i området 0,1-0,5 Hz för åksjuka och inom området 0,5 – 80 Hz för hälsa, perception och komfort.

Enligt standarden ska vibrationerna mätas i tre vinkelräta riktningar, x, y och z, där x är framåt och bakåt, y sidled och z vertikal riktning. Vibrationsamplituden ska beskrivas av frekvensvägd acceleration som uttrycks i effektivvärdet. Frekvensvägning är en form av signalbehandling av den uppmätta accelerationens frekvensspektrum. Den utförs för att ta hänsyn till människans känslighet för vibrationer vid olika frekvenser och olika riktningar. Olika uppsättningar vägningsfilter finns för hand- och armvibrationer samt för helkroppsvibrationer. Frekvensvägda accelerationsnivåer brukar anges med index w efter engelskans weighted.

Då vibrationerna innehåller inslag av stötar kan effektivvärdet underskatta risken. Det finns då två andra värden som går att använda för att uppskatta vibrationen:

- MTVV, ”Maximum Transient Vibration Value”, och
- VDV, ”Vibration dose value”.

MTVV är det högsta effektivvärde som registrerats under periodtiden. VDV baseras på den frekvensvägda accelerationen upphöjt till fyra.

För att undersöka vilken verkan vibrationen har på människokroppen ska varje riktning bedömas var och en för sig. De horisontella riktningarnas frekvensvägda acceleration multipliceras med en konstant för att kompensera människans olika känslighet för vibrationer i de olika riktningarna. För att göra riskbedömningen används det högsta värde som beräknas. Hälsorisken en person utsätts för bedöms enligt så kallade bedömningszoner²⁸.

Zonerna har beräknats utifrån undersökningar som för en given grad av hälsorisk visar relationen mellan acceleration och exponeringstid. Hälsorisk i detta sammanhang avser framförallt skador på ländrygg och tillhörande nervsystem. Zonerna är indelade i A och B, där zon A beskriver människans känslighet för vibrationer i relation till den frekvensvägda accelerationen i kvadrat, det vill säga MTVV. Zon B beskriver på samma sätt känsligheten i relation till den frekvensvägda accelerationen upphöjt till fyra, det vill säga VDV. Standarden beskriver dock inte vilken som är bäst lämpad att använda då det handlar om stötar. Däremot antyds det att zon B kan vara mer passande att använda vid stötar med kort exponeringstid.²⁹

För en förare, som utsätts för olika accelerationsnivåer under en dag, beräknas ett sammansatt värde av de olika nivåerna. Även de perioder som föra-

²⁸ ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body-vibration* (1997). International Organization for Standardization. 2. uppl.

²⁹ Lundström, Ronnie (2000). *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar. En förstudie*. Arbetslivsinstitutet. Sid 7-8.

ren inte utsätts för vibrationer ska tas med i beräkningen. Enligt ISO 2631-1 beräknas den totala frekvensvägda belastningen för en arbetsdag enligt:

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{w,i}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{1/2}$$

där $a_{w,i}$ är den frekvensvägda accelerationen för exponeringstiden T_i . Den frekvensvägda accelerationen som beräknas enligt ovanstående formeln jämförs med zon A för att bestämma hälsorisken.³⁰

ISO-standard 2631-5

Syftet med denna standard är att definiera en metod för att beräkna helkroppsvibrationer, vilka innehåller stötar, i relation till den mänskliga hälsan. Ogynnsamma effekter på korsryggen är den dominerande hälsorisken då kroppen utsätts för långtida exponering av vibrationer som innehåller stötar. Denna standard tar därför särskild hänsyn till hur ryggraden i korsryggen svarar på vibrationerna.

Metoden som beskrivs baseras på den förväntade responsen hos ryggkotändplattorna hos en individ som är i god fysisk kondition, som inte visar problem med ryggen och som har en upprätt hållning. Mätningar som utförs till denna metod bör ske då testpersonen sitter upprätt i stolen på fordonet och inte frivilligt reser sig från sätet under exponeringen. Olika hållning och ställningar kan ge olika effekter i ryggraden. I z-riktningen rekommenderas samplingshastigheten vara en multipel av 160 sampel per sekund. Varaktigheten av mätningarna skall vara tillräckliga för att försäkra att multipla stötar är typiska för den typ av exponering som mäts.

Accelerationsdosen, D_k , definieras som

$$D_k = \left(\sum_i A_{ik}^6 \right)^{1/6}$$

där A_{ik} är den i :te toppen på accelerationskurvan och k är riktningen x, y eller z. Accelerationsdosen mäts i meter per sekundkvadrat, m/s^2 .

En topp är här definierad som det högsta absolutvärdet av accelerationerna mellan två ”nollställen” (där kurvan korsar x-axeln). I x- och y-riktning ska både positiva och negativa toppar tas med i beräkningarna, medan det i z-riktning endast ska tas hänsyn till positiva toppar. Detta beror på att negativa accelerationer i z-riktning inte trycker ihop ryggraden.

Toppar med väldigt mycket lägre värden än den högsta toppen kommer inte påverka resultatet och behöver därför inte räknas in. Detta beror på att sjät-

³⁰ ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body-vibration* (1997)

tepotensen gör att endast de stora värdena kommer att göra någon skillnad. Värden lägre än tre har så liten betydelse att de helt kan ignoreras. För att kunna beräkna hälsoeffekten är det viktigt att beräkna den dagliga dosen, D_{kd} , en människa blir utsatt för. D_{kd} mäts i meter per sekundkvadrat, m/s^2 .

$$D_{kd} = D_k \left(\frac{t_d}{t_m} \right)^{1/6}$$

där t_d är tiden för den dagliga exponeringen och t_m är perioden över vilken D_k har blivit mätt. Denna metod används då den totala dagliga exponeringen kan representeras med en enda mätperiod. När den dagliga vibrationsexponeringen består av två eller fler perioder av olika magnituder skall accelerationsdosen beräknas enligt följande formel.

$$D_{kd} = \left(\sum_{j=1}^n D_{kj}^6 \frac{t_{dj}}{t_{mj}} \right)^{1/6}$$

där t_{dj} är varaktigheten av den dagliga exponeringen, och där t_{mj} är den period över vilken D_{kj} har mätts.

Denna standard vänder sig till personer vid god hälsa som regelbundet blir utsatta för vibrationer som innehåller stötar. Individer med tidigare åkommor som påverkat ryggen kan vara känsligare och skadas av stötar som en individ vid god hälsa inte skulle ta skada av. Standarden kan inte användas på högmagnituda enstaka stötar så som de som kan uppstå vid en trafikolycka och liknande. Det antas att multipla stötar orsakar tryckförändringar i ryggraden i korsryggen som efter en viss tid kan resultera i ogynnsamma hälsoeffekter. Viktiga faktorer är antalet toppar och dess magnitud. Hur stötarerna påverkar ryggraden beror till stor del på kroppsmassa och storleken på ändplattorna.

Hälsoeffekterna kan beräknas enligt den dagliga kompressionsdosen, S_{ed} .

$$S_{ed} = \left(\sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6 \right)^{1/6}$$

Rekommenderade värden på m_k , där k är riktningen, är

$$m_x = 0,015 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$$

$$m_y = 0,035 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$$

$$m_z = 0,032 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$$

Generellt kan en riskfaktor definieras för bedömning av hälsoeffekter, enligt

$$R = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ed} N^{1/6}}{S_{ui} - c} \right)^6 \right)^{1/6}$$

där

N är antalet exponeringsdagar per år.

i är årsräknare.

n är antalet år för exponering.

c är en konstant som representerar den statiska belastningen på grund av gravitationen och sätts normalt till 0.25 MPa.

S_{ui} är den ultimata styrkan för ryggraden i korsryggen för en person i i åldern $(b + i)$ år.

b representerar åldern då exponeringen startar.

Värdet på S_{ui} kan variera med skelettets densitet vilken brukar minska med ålder. Mellan S_{ui} och $(b + i)$ finns följande förhållande, $S_{ui} = 6,75 - 0,066 (b + i)$. Ett R mindre än 0,8 indikerar en låg sannolikhet för ogynnsamma hälsoeffekter. Ett R större än 1,2 indikerar på motsvarande sätt hög risk för ogynnsamma hälsoeffekter.³¹

Övriga regler

Arbetsmiljölagen säger att projektörer, vägghållare och entreprenörer har ett ansvar för bland annat yrkesförarens arbetsmiljö och att det framtida användandet tas hänsyn till vid projektering. Denna regel kan anses vara tillämplig för vägbulor.

Vidare finns regler i:

- Miljöbalken: skakningar som påverkar hälsan.
- Förordningen om skydd av gravida kvinnor mot skakningar.
- Förordningen om vibrationer under djurtransporter.³²

³¹ ISO 2631-5, *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body-vibration* (2004). Swedish Standards Institute.

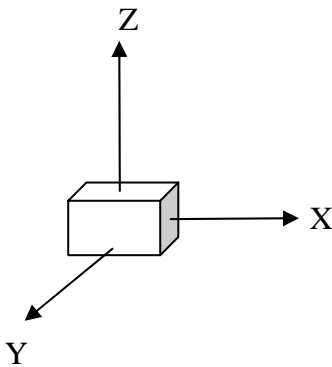
³² Arbetsmiljöverkets författningssamling (2005). *Vibrationer*. Maria Hagberg Forss.

4. Utveckling av metod för mätning

4.1 Framtagning av mätutrustning

Ett av syftena har varit att ta fram en metod som är enkel och utrustning som är billig att införskaffa. Vi anlidade civilingenjör Thord Lundgren vid Lunds Tekniska Högskola eftersom han tidigare tagit fram utrustning att mäta vibrationer i byggnader. Denna erfarenhet användes för att specialkonstruera utrustning för vårt ändamål.

Mätutrustningen består av en liten burk kallad Acc4 som innehåller två accelerometrar och en mikroprocessor. En accelerometer mäter accelerationer i horisontell led och den andra mäter accelerationer i vertikal led, se figur 4:1. Loggningen sker samtidigt i alla riktningar med hastigheten 20 mätningar/sekund. Mikroprocessor sparar informationen från accelerometrarna i block om 200 accelerationer. Acc4:an har måtten 11×5×3 centimeter, se figur 4:2.



Figur 4:1 Acc4:ans riktningar

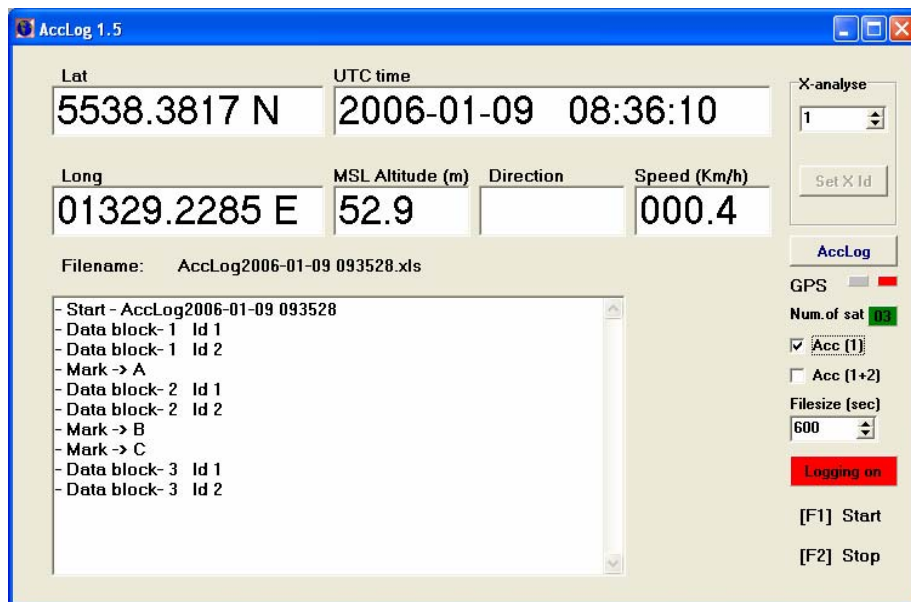


Figur 4:2 En Acc4.

Fordonets hastighet och position erhålls med hjälp av en GPS-mottagare. GPS-mottagarens positionsnoggrannhet är 2,5 meter. Informationen från GPS-mottagaren tillsammans med accelerationen från accelerometrarna överfördes till en bärbar dator där den sparades i en xls-fil. Accelerationer mäts i milligravitation, där gravitation är $9,81 \text{ m/s}^2$.

Accelerometrarna och GPS-mottagaren strömförsörjs med bilbatteriet genom cigarettuttaget. I samtliga av våra försök har vi använt oss av två parallellkopplade Acc4:or eftersom vi velat genomföra en rad jämförande studi-

er, vilket framgår senare i detta kapitel. I figur 4:3 visas användargränssnittet för mjukvaran som används (AccLog 1,5). Förklaring till de fält som visas i figuren återfinns i texten nedan.



Figur 4:3 Användargränssnittet för mjukvara till Acc4.

| | |
|--------------|---|
| Lat | GPS-latitud |
| Long | GPS-longitud |
| Time | Datum och tid |
| MSL altitude | Höjd över medelhavsnivån (används ej) |
| Direction | Rörelseriktning (används ej) |
| Speed | Hastighet km/tim |
| X-analyse | Ställer accelerometer med X Id i X-analyse mode. (används ej) |
| AccLog | Ställer in accelerometrarna i normalt arbetsläge. |
| Numb. of sat | Antal GPS-satelliter. |
| Acc1, Acc2 | En eller två Acc4:or. |
| Filesize | Logfilernas storlek i sekunder (default 600 sekunder) |
| F1 | Startar loggningen |
| F2 | Avslutar loggningen |

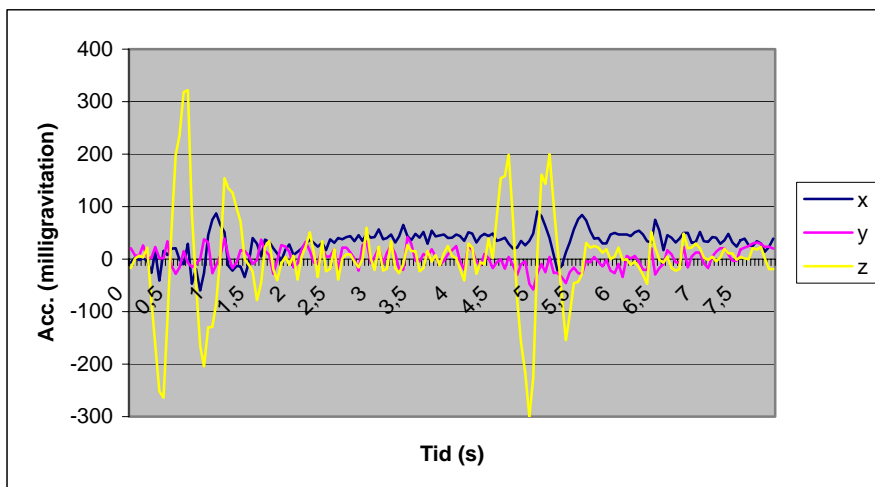
I rutan längst ner till vänster i figur 4:3 visas hela tiden de block med information som kommer från de båda Acc4:orna (Id 1 och Id 2). Blocken ”rullar in” så länge mätningarna pågår. I samma fält visas även de händelser som markeras, i detta fall händelse A, B och C. Funktionen finns till för att underlätta sökandet i datafilen vid analyskedet. Ett A kan t ex betyda att man då befinner sig strax före farthinder nummer 1 och B att man befinner sig strax efter. Händelsemarkeringarna utförs med datorns tangentbord. Det tecken som valts kommer sedan att visas i xls-filen vid den tidpunkt tangenten tryckts ner, se tabell 4:1.

Tabell 4:1 Xls-fil med data från GPS och Acc4

| Time (sec) | Lat | Long | X1 | Y1 | Z1 | X2 | Y2 | Z2 | Speed (km/h) | Event |
|------------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|--------------|-------|
| 58.05 | 43.72 | 311.37 | 22 | -6 | 9 | 27 | -4 | -6 | 28.4 | |
| 58.10 | 43.72 | 311.37 | 26 | -3 | 18 | 33 | -11 | 3 | 28.4 | |
| 58.15 | 43.72 | 311.37 | 19 | -18 | 38 | 26 | -11 | 5 | 28.7 | A |
| 58.20 | 43.72 | 311.37 | 11 | -22 | 39 | 17 | -18 | 76 | 28.7 | |
| 58.25 | 43.72 | 311.37 | 23 | -10 | -6 | 28 | -40 | 55 | 28.7 | |
| 58.30 | 43.72 | 311.37 | 13 | 40 | 10 | 25 | 19 | 42 | 28.7 | |
| 58.35 | 43.72 | 311.37 | 24 | 8 | -457 | -106 | 72 | -205 | 28.7 | B |
| 58.40 | 43.71 | 311.36 | 172 | -104 | -664 | 68 | -60 | -678 | 28.9 | |
| 58.45 | 43.71 | 311.36 | 56 | -68 | -185 | 39 | -102 | -595 | 28.9 | |
| 58.50 | 43.71 | 311.36 | -17 | 18 | 168 | 13 | -19 | 154 | 28.9 | |
| 58.55 | 43.71 | 311.36 | -127 | 15 | 488 | -37 | 25 | 306 | 28.9 | C |
| 58.60 | 43.71 | 311.36 | -103 | 13 | 454 | 7 | -21 | 476 | 28.9 | |

Tabellen visar utdata från accelerometrarna och GPS-mottagaren då de överförs till datorn. De tre första kolumnerna visar tid, latitud, och longitud. GPS-mottagaren anger sina positionen 4-5 ggr per sekund, vilket ger tillräckligt underlag för att också använda denna data till att beräkna fordonets hastighet. Acc4:orna avger värden 20 ggr per sekund. Uppmätta värden från den första Acc4:an visas som x1, y1 och z1 (milligravitation) medan värdena från den andra visas som x2, y2 och z2. De sista två kolumnerna visar hastigheten och de händelser som markerats.

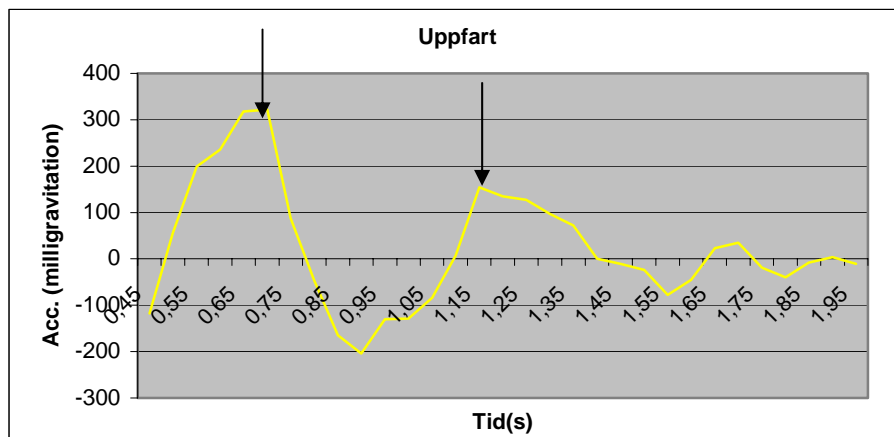
I figur 4:4 illustrera accelerationerna som erhålls vid passage av ett farthinder, i detta fall ett platågupp.



Figur 4:4 Utdata från accelerometern vid passage av ett platågupp

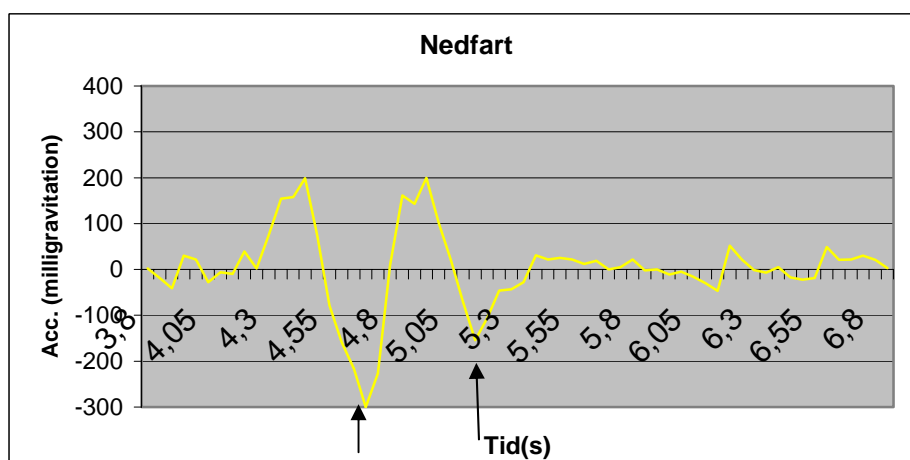
Ur figuren 4:4 framgår att accelerationerna i z-led (gul linje) är större än accelerationerna i x- och y-led. Platåguppet som figuren visar har en tjugo meter lång platå, vilket gör det lätt att se var fordonet körde upp på respektive ned från platån (piken vid tiden runt 1,0 respektive 5,0).

Accelerationerna vid upp- och nedfart visas i en annan tidsskala i figurerna 4:5 och 4:6. De första två positiva topparna i figur 4:5, se pilarna, uppstår då bilens framdäck respektive bakdäck kör upp på platån. Vibrationerna mellan och efter de två positiva topparna illustrerar dämpningen som uppstår.



Figur 4:5 Accelerationer vid uppfart på ett platågupp.

Motsvarande accelerationer vid nedfart visas i figur 4:6. De första två negativa topparna uppkommer då bilens framhjul respektive bakhjul kör ned från platån. Vibrationerna som uppstår efter nedfarten är även här bilens dämpning.³³ Eventuella toppar och dalar utöver dessa kan bero på ojämnheter i vägbanan.



Figur 4:6 Accelerationer vid nedfart från ett platågupp.

³³ Kennedy, J et al (2004). *Impact of road humps on vehicles and their occupants*. TRL Limited.

4.2 Beräkning av total påverkan

Det är lämpligt att väga samman accelerationsförändringarna i respektive riktning till ett enda mått som sedan är möjlig att jämföra med det upplevda obehaget. I ISO-standarden 2631, se kapitel 3.5, finns en metod för att koppla samman de tre olika riktningarna, men för att denna metod ska kunna användas måste vissa krav uppfyllas. Bland annat måste testpersonerna sitta direkt på utrustningen. Flera andra detaljkrav har lett till att ISO-standarden inte använts och till att en ny beräkningsmetod utvecklats. Metoden skall vara enkel att förstå och inte ha någon betydelse för vilken typ av fordon som används. Metoden bygger på att krafterna adderas enligt formeln

$$a_i = \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\sqrt{a_{it}^2} \right)^2 dt \right]^{1/2}$$

där a_{it} är accelerationen i riktning i , i tidssteget t , T är tiden från guppets början till guppets slut, mätt i sekunder och a_i är den sammanlagda kraften i riktning i .

En totalkraft beräknas genom att krafterna för alla riktningar summeras.

$$a_{tot} = \left[\sum a_i^2 \right]^{1/2}$$

Reduktion av brus

Då bilen färdas på plan mark registreras accelerationer i alla tre riktningar, se t ex i fig 4:3. Detta kallas vägbrus och är av ungefär samma storleksordning i alla riktningar. I varje mätning görs beräkningar över tiden och beroende på hur lång tid som medräknats innan och efter guppet kan resultatet variera kraftigt, vilket ger instabila värden. Detta kan undvikas genom att bruset rensas bort.

För att veta hur stora accelerationer vanligt vägbrus innehåller, studerades mätdatafiler där bilen färdats på plan mark. Gränsen för vägbrus hamnade för accelerationer i alla riktningar mellan -30 och 30 milligravitaion. Värdena i datafilerna minskas, eller ökas beroende på om accelerationen är positiv eller negativ, därför med 30 och de värden som bara består av brus försvinner helt. Totalvärdet blir därmed stabilt.

4.3 Test av utrustning och mätmetod

I testerna har bland annat följande studerats:

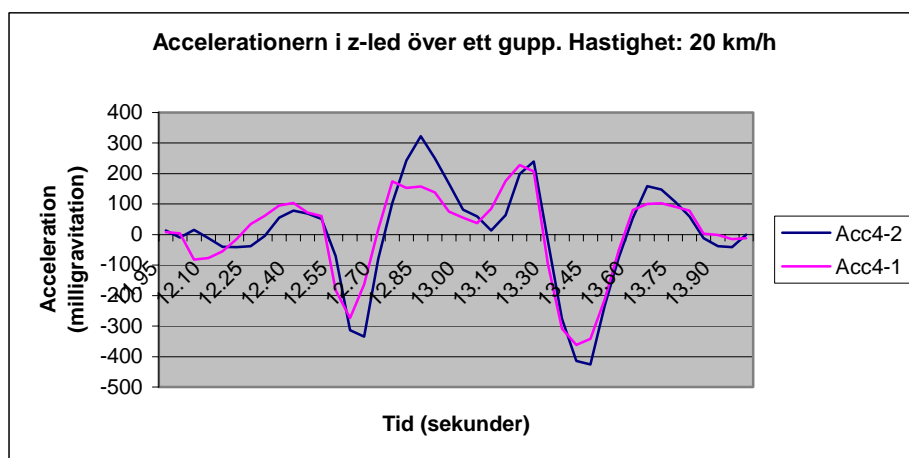
- Hur monteringen av utrustningen ska ske.

- Hur stor betydelse vinklingen av accelerometrarna har.
- Hur stor skillnad det är om utrustningen placeras i sätet eller på golvet.

De olika testerna utfördes flera gånger för att få så tillförlitliga resultat som möjligt.

Fast eller lös?

I det första testet studerades om det har någon betydelse om accelerometrarna är fasts monterade eller om den kan läggas löst i fordonet. En Acc4 fästes alltså på ett av sätena medan den andra fick ligga lös. De data som erhöles visar att det har betydelse, se figur 4:7. I figuren representerar Acc4-1 den som var fastspänd och Acc4-2 den som låg lös i bilen. Acc4-1 visar mindre utslag än Acc4-2 vid passage av ett farthinder vilket beror på att den lyfter lite från sätet eller röra på sig på annat sätt och ger därmed större utslag på accelerometern. Hastigheten visades också vara av stor betydelse. Testerna visade att Acc4:orna ska vara fastmonterade för att ge stabila och repeterbara värden.



Figur 4:7 Accelerationerna i z-led över en vägbula.

Betydelsen av vinkelavvikelser

Betydelsen av hur noga man bör vara vid monteringen av Acc4:an i förhållande till horisontalplanet undersökts genom att de två Acc4:orna monterats i olika ställningar. En Acc4 sattes fast helt lodrät, medan den andra monterades i olika vinklar mot golvet. Testerna utfördes i både x- och y-led. Vinkelavvikelsen var noll, fem, tio respektive femton grader, se figurerna nedan. För att undersöka skillnaderna mellan Acc4:orna beräknades totalvärdet (se avsnitt 4.2 ovan) för vardera Acc4 vid passage av respektive farthinder. I

varje test har två gupp körts över och mellan guppen har svängar, acceleration och retardation utförts för att erhålla skillnader i alla riktningar.

I det första testet var båda Acc4:orna placerade vådrätt, se figur 4:8. Skillnaden i beräknad kraftpåverkan mellan de två Acc4:orna var liten då acceleration, retardation och svängar utfördes.



Figur 4:8 Vinkling på Acc4:orna i test 1

I test två vinklades accelerometer två ungefär fem grader i x-led, se figur 4:9. Resultaten visade att skillnader i beräknad total kraftpåverkan var högst 3,5%, vilket inte bedöms ha någon större betydelse.



Figur 4:9 Vinkling på Acc4:orna i test 2

I test tre var vinkelavvikelsen 10 grader och då blev skillnaderna som störst 6%, och i det fjärde testet var vinkelavvikelsen 15 grader. Denna relativt stora vinkelavvikelse gav en beräknad kraftpåverkan som skilde som mest 14,5 %, vilket inte bör tolereras.

Testet utfördes även med vinkling i y-led istället för x-led. Resultaten var snarlika dem i x-led.

Slutsatsen är att man bör eftersträva en så vågrätt montering som möjligt men att små vinkelavvikelser inte spelar någon större roll för resultaten. Stora vinkelavvikelser påverkar dock resultaten och då avvikelserna närmar sig 45% byter riktningarna plats med varandra, vilket kan skapa problem vid utvärderingen.

Skillnad mellan placering på golv och i säte

En accelerometer placerades fast på golvet och den andra fast i sätet. I testet har bilen färdats över två gupp och mellan guppen har svängar åt både höger och vänster samt acceleration och retardation utförts. Detta har upprepats ett antal gånger.

Då testet utfördes i framsätet och på golvet fram erhöles större vibrationsvärden vid golvet än på sätet. Skillnaden i totalkraft mellan de båda accelerometertrarna varierade från fyra till åttio procent.

Då testet utfördes i baksätet och på golvet bak visade det sig att vibrationsvärdena i sätet var större än de vid golvet och att skillnaden mellan de båda var mellan fem och trettio procent.

Förklaringen till skillnaderna ligger alltså inte i om man mäter vid golv eller på sätet, utan Acc4:ans placering i förhållande till hjulaxel. Högst värde erhålls ovanpå hjulaxeln. Ju längre ifrån en hjulaxel desto större blir dämpningen.

Skillnad mellan fram- och baksäte

Testet utfördes på samma sätt som de andra ovan, med en Acc4:a fastsatt på framsätet och den andra på baksätet. De uppmätta vibrationskrafterna var större i baksätet än i framsätet. Precis som i ovanstående tester kan skillnaderna förklaras i avstånd till närmaste hjulaxel. Baksätet är ganska nära bakaxeln medan framsätet sitter nästan i mitten av bilen.

Skillnad mellan golv fram och golv bak

Utrustningen placerades på golvet fram och på golvet bak och sedan kördes samma slinga som i tidigare tester. Resultatet var att det hela tiden är större vibrationsutslag vid golvet fram än vid golvet bak. Golvet framför framsätet är också nära den främre hjulaxeln medan golvet bak är mer i mitten av bilen. Alltså samma förklaring som i de andra testerna.

Skillnad mellan framsätet och golv bak

I det sista testet undersöktes om det förekommer skillnader mellan vibrationerna vid golvet bak och framsätet. Båda platserna är nära mitten av bilen och borde därför inte ge alltför stora vibrationsskillnader om förklaringarna ovan stämmer. Resultaten visade på en skillnad av kraftutslaget på cirka 3 % i låga hastigheter medan den ökade något till dryga 10 % vid högre hastigheter. Vibrationerna var konstant lite högre i sätet fram och skulle kunna förklaras på samma sätt som tidigare med att avståndet till framaxel var lite närmre.

Slutsatsen av de olika testerna är att det inte spelar någon roll om man mäter på sätet eller vid golvet, men att avståndet till närmsta hjulaxel spelar roll. Acc4:an bör alltså placeras på samma avstånd från hjulaxeln som den person sitter som ska bedöma vilket obehag som upplevs.

Är det möjligt att sitta på Acc4?

I detta test fick en testperson sitta på en Acc4 medan den andra Acc4:an var placerad på golvet direkt under samma säte. Resultatet visade att det inte fanns några tydliga samband mellan vilken Acc4 som visade störst vibrationsvärde. Förklaringen ligger förmodligen i att Acc4:an är känslig för test-

personens rörelser. Hur stor skillnad det kan vara testades genom att två testpersoner, med liknande längd och vikt, fick sitta på varsin Acc4 vid färd i samma bil. Resultaten visade två kurvor som skilde sig på upp till femton procent. I låga hastigheter var skillnaden inte så stor utan ökade med ökande hastighet.

Testet visade att värdena inte blir tillförlitliga när testpersonen sitter på Acc4:an eftersom testpersonens rörelser påverkar utfallet för mycket. Detta beror till största delen på att utrustningen inte är konstruerad för att sitta på. Då testpersonen flyttar vikten framåt för att exempelvis växla eller för att titta åt sidan, ändras vinklarna på Acc4:an vilket kan ge skillnader i resultaten.

Fastsättning av Acc4

De fasta monteringen av Acc4:an har provats på flera sätt. Vi testade först med skruvtvingar som höll den på plats i sidled. Resultatet var att utrustningen kunde röra sig vertikalt över vissa gupp och till och med lossna helt. Ett annat problem med denna typ av fastsättning är att olika bilar ser olika ut under sätet och det var inte alltid möjligt att trycka fast utrustningen mellan dörrkanten och mittkonsollen.

En annan metod var att med hjälp av buntband sätta fast utrustningen på en skena under sätet. Med denna metod satt utrustningen fast men problem uppstod då bilar ser olika ut under sätet. Detta gjorde att utrustningen fick sättas där plats fanns vilket på vissa bilar blev strax framför sätet istället för under. Enligt tidigare tester är inte vibrationerna lika under sätet och framför sätet vilket gjorde att även detta sätt förkastades.

Den slutliga lösningen för montering var att ”pressa” fast Acc4:an på golvet under sätet med hjälp av omvända skruvtvingar så att den ligger helt still. Acc4:an bör placeras på golvet strax framför ryggstödet anslutning till sätet (där kroppstyngdpunkten ligger för den som sitter på sätet). Golvet under sätet är ganska plant vilket innebär att Acc4:an inte får någon nämnvärd vinkelavvikelse i förhållande horisontalplanet.

5. Samband mellan vibration och upplevt obehag

5.1 Testupplägg och pilotstudie

Ett viktigt syfte med projektet har varit att studera vilka samband som råder mellan den uppmätta vibrationspåverkan som erhålls vid passage av ett farthinder och hur trafikanterna upplever obehaget. Detta ville vi testa genom att låta ett antal förare och passagerare färdas över ett antal farthinder i varierande hastigheter, där vi mätte de vibrationspåverkande krafterna och samtidigt frågade testpersonerna om hur de upplevde obehaget efter varje passage. Upplägget testades genom en pilotstudie med nio deltagare.

Testslinga

Inledningsvis togs en testslinga fram. Olika vägslingor med varierande antal och typ av farthinder studerades i Lund. Olika krav ställdes upp, bl a att man av praktiska skäl skulle kunna genomföra körningen av en slinga under tiden en timma, inklusive byte av förare. Vidare att trafiken inte fick vara så omfattande att man inte hade möjlighet att välja förutbestämd hastighet över farthindret. Efter många testkörningar fick vi fram en slinga med tretton olika farthinder och två cirkulationsplatser där varje plats passerades minst två gånger. Körtiden låg normalt kring 40-50 minuter.

Frågeformulär

Ett frågeformulär utarbetades där testpersonerna själva skulle ange sin uppfattning om vilket obehag som uppstått efter passage av ett farthinder. Upplevelsen fick anges på en sexgradig skala enligt nedan:

- behagligt (0)
- lite obehagligt (1)
- ganska obehagligt (2)
- obehagligt (3)
- mycket obehagligt (4)
- extremt obehagligt (5)

I rapporten benämns dessa obehagsnivåer även från noll till fem, där noll är behagligt och fem är extremt obehagligt.

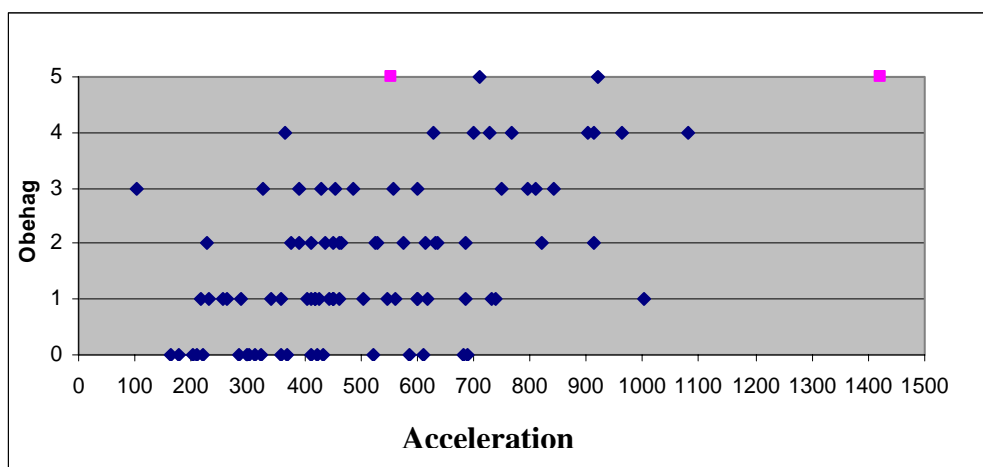
Ett antal allmänna frågor ställdes även om testpersonens resvanor, ålder, kön, fysiska förutsättningar, placering i fordonet, om det enligt testpersonen var bekvämt att färdas i fordonet. Dessutom ställdes frågan om man ansåg

att farthinder är en bra åtgärd för att öka trafiksäkerheten, alltså deras allmänna attityd till farthinder. De allmänna frågorna är tänkt som underlag vid analys av eventuella samband.

Pilotstudien

Nio personer deltog i en pilotstudie där dessa fick köra slingan eller åka med som passagerare i framsätet. Två testledare åkte med i baksätet. En av dessa skötte mätutrustningen och bestämde vilken hastighet föraren skulle försöka hålla över respektive farthindret som passerades. Den andra testledaren kommunicerade med föraren om vilken väg som skulle köra och noterade på förarens formulär vilken obehagsnivå som föraren upplevde. Då passagerare samtidigt var med antecknade han/hon själv sina obehagsnivåer i sitt formulär. För att inte passageraren skulle påverkas av förarens åsikter fick passageraren musik i öronen från en mp3-spelare under vanliga hörselskydd. På så vis hörde passageraren inget av vad som sades mellan övriga i kupén.

Resultaten av pilotstudien visade att testpersonerna hade mycket olika uppfattningar om vad som är obehagligt vid samma vibrationspåverkan, se figur 5:1 nedan. Exempelvis kan extremt obehag (5) upplevas både vid 550 milligravitation och till 1400 milligravitation (de röda punkterna).



Figur 5:1 Obehag som funktion av accelerationskraften (milligravitation) över farthinder

Studien visar dock på att det tycks finnas en generell ökning av obehagsgraderingen med ökad accelerationskraft trots den mycket subjektiva bedömningen. Men för att få tillförlitliga samband krävs ett stort antal tester. Till viss del kanske man måste utesluta vissa extremvärden.

Modificeringar

Testpersonerna fick ge kommentarer på hur de hade upplevt testslingan och formuläret. Formuläret upplevdes som lättförståeligt och att det inte var några svårigheter att fylla i. Men flera testpersoner berättade att de hade en negativ inställning till de båda busskuddar som ingick och att de troligen satte ett

högre värde på obehaget än vad de egentligen tyckte. Delvis av denna anledning valde vi att ta bort busskuddarna från testslingan, men delvis också därför att de låg på ett ställe som gjorde att slingan blev onödigt lång. Genom att eliminera dem sparade ett par minuter i körtid.

5.2 Huvudstudien

Antal testpersoner

Från pilotstudien uppskattades att vi var i behov av ca 50 testperson för att erhålla tillräckligt med observationer för vårt ändamål att få fram tillräckligt bra samband. Testpersonerna rekryterades per annons hos arbetsförmedlingen. Målet var att få en bra spridning i kön och ålder. För att vara effektiva ville vi i största möjliga utsträckning ha en förare och en passagerare vid varje testkörning. Testpersonerna fick endast vara med på testet en gång, vilket innebar att ingen intervjuades både som passagerare och som förare.

Huvudstudien genomfördes med 47 testpersoner. Av dem var 23 kvinnor och 24 män i åldrarna 18 till 55 år. Åldersspridningen var relativt jämn, med något färre personer i åldersgruppen 30 till 40 år. Av testpersonerna hade en del körkort och en del inte. Deltagarna fick ersättning för sin medverkan.

Testbilar

Testerna har utförts med tre olika bilar, i huvudsak för att studera skillnader mellan de olika bilarna. Bilarna som använts är Volkswagen Golf -04, Ford Focus -04 och Volkswagen Passat -05.

Genomförande

Studierna genomfördes i Lund under oktober och början av november månad 2005. Testslingan innehöll elva farthinder och två cirkulationer. Varje ställe passerades mer än en gång och i olika hastigheter. Slingan tog ca 40 minuter att köra.

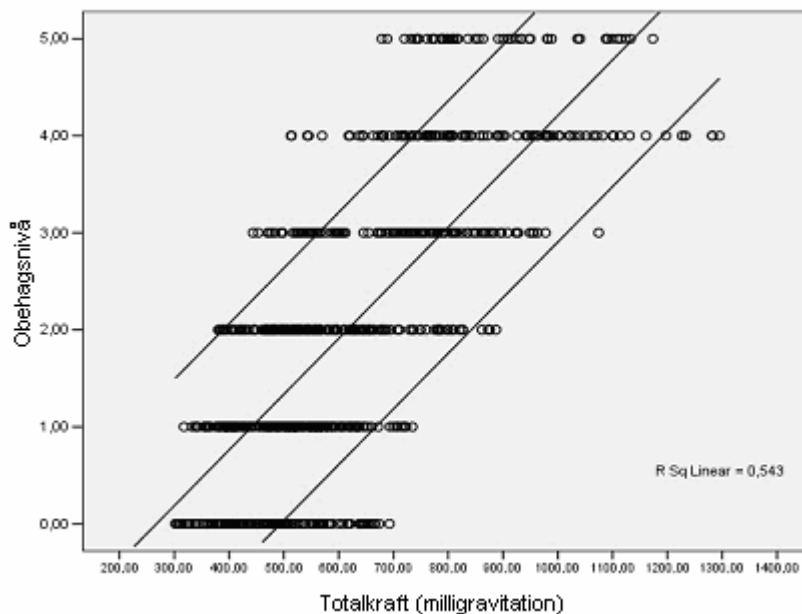
Mätningarna visade på att de uppmätta krafterna enligt den valda metoden inte var direkt jämförbara vid passage av farthinder respektive cirkulationsplats, varför resultatredovisningen delats upp i separata avsnitt.

5.3 Samband mellan totalkraft och obehag vid passage av farthinder

Totalkrafterna från beräkningarna och det upplevda obehaget för varje observation kopplades samman och sammanställdes i ett diagram. Från detta material skapades en regressionslinje med tillhörande konfidensintervall där gränserna för obehagsnivåerna kunde avläsas, se figur 5:2 nedan.

Då skalan framställdes eliminerades vissa värden. Dels från ett par test där testpersonen missuppfattat skalan eller missat flera gupp, dels från observationer av ett gupp där testpersonerna var påverkade av föregående gupp. Det föregående guppet var ett skarpt gupp som kördes över i 40 km/h, vilket oftast resulterade i extremt obehag. Guppet som följde strax efter kördes över i 20 km/h och i jämförelse med guppet innan upplevdes detta som behagligt. Hade testpersonerna däremot åkt åt andra hållet utan att färdas över det skarpa guppet först, hade förmodligen guppet inte upplevts som lika behagligt. På grund av att testpersonerna uppenbarligen var påverkade av det tidigare guppet eliminerades detta gupp helt då de statistiska testerna genomfördes.

En linjär regressionslinje för alla observationer har vi tagit fram tillsammans med 90-procentigt konfidensintervall, vilket beskriver spridningen. Regressionslinjen med tillhörande konfidensintervall redovisas i figuren nedan.



Figur 5:2 Regressionslinje med tillhörande 90 % konfidensintervall

Ur regressionsanalysen kan man avläsa gränsvärdena inom konfidensintervallet vid de olika obehagsnivåerna. Resultaten sammanställs i tabell 5:1 nedan.

Tabell 5:1 Samband mellan totalkraft och obehag inom konfidensintervallet 90% för gupp.

| Obehagsnivå | Totalacceleration 90%-konf.(m/s ²) |
|-----------------------|---|
| Behagligt | 0,0- 4,8 |
| Något/lite obehagligt | 2,2 – 6,6 |
| Ganska obehagligt | 3,8 – 8,2 |
| Obehagligt | 5,5 – 9,8 |
| Mycket obehagligt | 7,3 – 11,7 |
| Extremt obehagligt | 8,9 - |

Tabellen visar att ett värde, exempelvis 4 m/s², finns med i tre olika nivåer, i detta exempel behagligt, något/lite obehagligt och ganska obehagligt. Detta kan förklaras med att det är stor spridning på hur testpersonerna upplever obehaget. För en del är alltså en kraft på 4 m/s² behaglig medan andra finner den ganska obehaglig.

Skillnad man/kvinna

I huvudstudien ingick 24 män och 23 kvinnor och för att undersöka om det förekommer några skillnader mellan hur de upplever komforten utfördes statistiska tester.

Regressionsanalys med ett 90-procentigt konfidensintervall utfördes för vardera kön. Intervallen redovisas i tabell 5:2.

Tabell 5:2 Obehagsnivåers samband med totalacceleration för män och kvinnor

| Obehags- nivå | Män (m/s ²) | Kvinnor (m/s ²) | Skillnad undre gräns | Skillnad övre gräns |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0 | 0,0 – 4,8 | 0,0 – 5,1 | 0 | 0.3 |
| 1 | 2,0 – 6,6 | 2,6 - 6,7 | 0.6 | 0.1 |
| 2 | 3,7 - 8,3 | 4,1 - 8,2 | 0.4 | -0.1 |
| 3 | 5,5– 10,2 | 5,7 – 9,8 | 0,2 | -0,4 |
| 4 | 7,3 – 12,0 | 7,3 – 11,4 | 0 | -0.6 |
| 5 | 9,0 - | 8,8 - | -0.2 | |

Värdena som är negativa innebär att kvinnorna har lägre gränser för obehagsnivåerna än männen, medan de positiva innebär motsatsen. Som framgår är skillnaderna små, som störst 0,6 m/s².

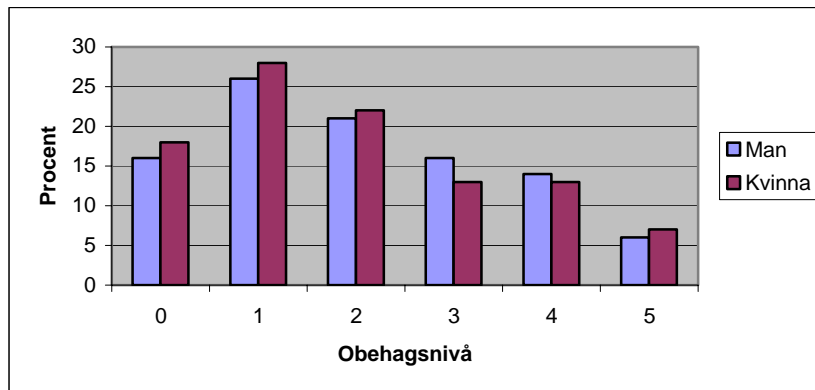
Genom regressionsanalysen erhålles även värden på R och R², vilka visas i tabell 5:3.

Tabell 5:3 R-värde och R-2 värde för män respektive kvinnor

| | R | R ² |
|---------|------|----------------|
| Män | 0.73 | 0.54 |
| Kvinnor | 0.74 | 0.55 |

Tabellen visar att det finns klara linjära samband mellan kraft och komfort både för män och kvinnor, samt att stämmer väl överens med varandra.

I figur 5:3 nedan illustreras hur män respektive kvinnor valt vardera obehagsnivå. Den största skillnaden är tre procent. T-test visar att det inte finns någon signifikant skillnad mellan hur kvinnor och män uppfattar komfort över ett farthinder.



Figur 5:3 Procent av andelen män respektive kvinnor som valt vardera obehagsnivån

Skillnad förare/passagerare

Samma tester som användes för att studera eventuella skillnader mellan man och kvinna användes även för att undersöka om det finns signifikanta skillnader mellan hur förare och passagerare uppfattar komforten vid ett farthinder. Resultaten av regressionsanalysen med ett 90-procentigt konfidensintervall redovisas i tabell 5:4.

Tabell 5:4 Obehagsnivåers samband med totalacceleration för förare och passagerare

| Obehagsnivå | Förare (m/s ²) | Passagerare (m/s ²) | Skillnad undre gräns | Skillnad övre gräns |
|-------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 0,0 – 4,8 | 0,0 – 4,9 | 0 | 0.1 |
| 1 | 1,9 – 6,5 | 2,4 – 6,6 | 0.5 | 0.1 |
| 2 | 3,5 – 8,1 | 4,1 - 8,3 | 0.6 | 0.2 |
| 3 | 5,2 – 9,8 | 5,9 – 10,2 | 0,7 | 0,4 |
| 4 | 6,9 – 11,5 | 7,7 – 12,0 | 0,8 | 0.5 |
| 5 | 8,5 - | 9,4 - | 0.9 | |

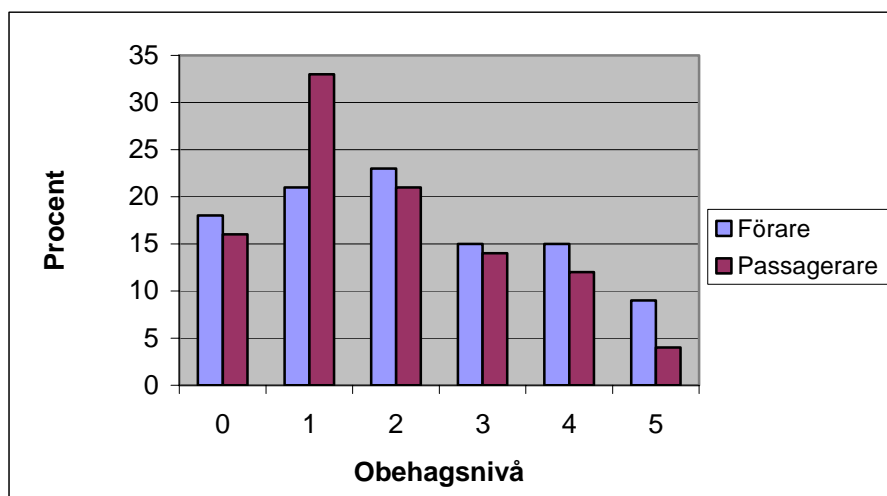
Skillnaden mellan förare och passagerare är större än för män och kvinnor. Här är den största skillnaden 0,9 m/s² medan samma värde för män och kvinnor var 0,6 m/s². Då alla skillnader är positiva innebär det att passagerarna har större tolerans mot obehaget än förarna.

Tabell 5:5 R-värde och R² värde för män respektive kvinnor

| | R | R ² |
|-------------|------|----------------|
| Passagerare | 0.74 | 0.55 |
| Förare | 0.74 | 0.54 |

R-värdena visar klara linjära samband och R²-värdena för förare och passagerare visar inga skillnader.

I figur 5:4 illustreras hur passagerare respektive förare valt vardera obehagsnivå.

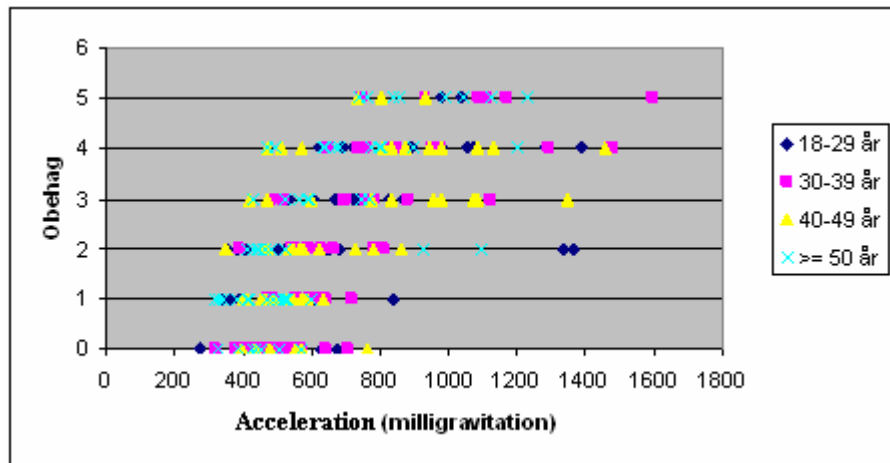


Figur 5:4 Procent av passagerare och förare som valt vardera obehagsnivån

Trots den synbara skillnaden i figuren är den inte signifikant säkerställd, dvs. vi kan inte dra slutsatsen att det skulle råda någon skillnad mellan hur förare och passagerare upplever obehaget vid passagen av farthinderna.

Skillnader mellan åldersgrupper

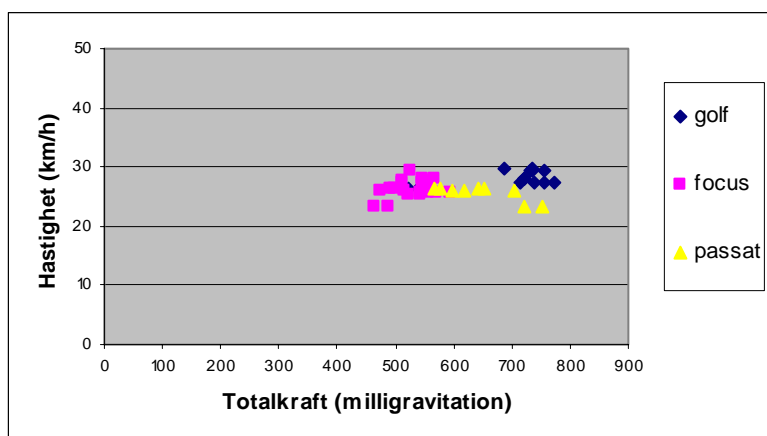
Tester har gjorts på om komfortupplevelsen skiljer sig mellan de olika åldersgrupperna vid samma uppmätta vibrationskraft. Testpersonerna delades in i fyra olika åldersgrupper, de som var 18 till 29 år, 30 till 39 år, 40 till 49 år och de som är över 50 år. I figur 5:5 är observationerna plottade och analyserna visar att det inte kunde konstateras några signifikanta skillnader mellan de olika grupperna.



Figur 5:5 Skillnad på komfort mellan åldersgrupper

Skillnader mellan de olika bilarna

Testerna visade på stora skillnader mellan de olika bilarna som användes. Olika stötdämpare och fjädring ger olika dämpningsförmåga. Volkswagen Golf var den bil som alltid visade störst uppmätta krafter, medan Ford Focus dämpade krafterna bäst. Detta visas i figur 5:6, där krafterna har plottats mot respektive hastighet över ett och samma gupp. Som framgår kan de uppmätta vibrationerna i bilarna skilja på mellan 30-40% vid passage i ungefär samma hastighet.



Figur 5:6 Kraftskillnaden mellan de tre olika bilarna

Trots att fordonen ger olika mätresultat så påverkar detta inte undersökningen av sambandet kraftpåverkan – obehag.

5.4 Samband mellan totalkraft och obehag vid passage av cirkulationsplats

I slingan ingick även två cirkulationsplatser för att testa om samma skala kan användas även för denna typ av hastighetsreducerande åtgärd. Accelerationer uppmättes och totalkraften beräknades i enlighet med avsnitt 4.2. Detta skapade vissa problem. Den sammanlagda accelerationen blir mycket högre eftersom tiden man påverkas av kraften vid passage av en cirkulation är mycket längre jämfört med ett gupp. Metoden går ju ut på att summera krafterna över tiden.

Regressionsanalys utfördes dock på de observerade värdena. Ett annat problem är att antalet observationer är för få och endast några fåtal observationer finns på obehagsnivå två och tre och inga observationer för obehagsnivå fyra och fem. Testpersonerna har alltså tyckt att cirkulationsplatser varit obehagliga trots relativt höga beräknade krafter.

Med god vilja kan man ur regressionen och tillhörande konfidensintervall ta fram några riktvärden för ett tänkbart samband, med dessa är alltså mycket osäkra. Intervallen redovisas i tabell 5:6.

För att cirkulationsplatser ska kunna ingå i samma sambandsskala som för vägbulor krävs sannolikt att y-accelerationerna viktas ned med en faktor 2. Vi har i denna studie för få mätningar för att rekommendera något sådant. Samma sak bör kanske gälla för accelerationer och retardationer i x-led, och där har vi ännu färre observationer i denna studie.

Tabell 5:6 Samband mellan totalkraft och obehag inom konfidensintervallet 90% för cirkulationsplatser

| Obehagsnivå | Totalacceleration (m/s²) |
|-----------------------|--|
| Behagligt | 0,0- 6,5 |
| Något/lite obehagligt | 5,1 – 11,2 |
| Ganska obehagligt | 9,4 – 15,5 |
| Obehagligt | 13,5 – 20,0 |
| Mycket obehagligt | 17,5 – 24,5 |
| Extremt obehagligt | 21,4 - |

5.5 Vald modell

Som framgår ovan har vi endast tillräckligt med data för ett samband mellan kraftpåverkan i z-led och upplevt obehag. Dessa har redovisats i figur 5:2 och tabell 5:1 på sidorna 38 och 39. Den individuella bedömningen av obehaget har en viss spridning vid samma uppmätt kraftpåverkan. Med ett 90%igt konfidensintervall erhålls en överlappning mellan obehagsnivåerna och uppmätta krafter. Denna överlappning är dock inte önskvärd vid en praktisk tillämpning. Därför har vi valt att minska konfidensintervallet i steg till dess överlappningen försvinner. Detta uppträdde ungefär vid det 70% konfidensintervallet, och då erhöles en sambandsmodell enligt tabell 5:7 nedan. Det innebär att vi har en modell som stämmer väl överens med vad ca 70% av testpersonerna upplever.

Tabell 5:7 Vald sambandsmodell

| Obehagsnivå | Totalacceleration (m/s²) |
|---------------------------|--|
| Behagligt (0) | 0,0- 3,5 |
| Något/lite obehagligt (1) | 3,6 – 5,2 |
| Ganska obehagligt (2) | 5,3 – 6,9 |
| Obehagligt (3) | 7,0 – 8,6 |
| Mycket obehagligt (4) | 8,7 – 10,3 |
| Extremt obehagligt (5) | >10,3 |

Hur väl linjen överensstämmer med de observerade värdena studerades med hjälp av korrelationskoefficienten, R-värdet. R-värdet från regressionsanalysen är 0,7 vilket innebär att ett positivt samband mellan kraft och obehag finns men att linjen inte är helt rät. R²-värdet är 0,54 vilket innebär att kraften svarar för 54 % av variationen hos obehaget. Andra orsaker som kan påverka obehagets variation är bland annat att de olika testpersonerna har spridda uppfattningar om komfort. Exempelvis personens sittställning i bi-

len och om bilen låter när den färdas över ett gupp kan påverka obehagets variation.

Som redovisats tidigare, se avsnitt 2.1, har man i danska studier kommit fram till att ett gupp bör generera värden över ca 5 m/s^2 för att kunna reducera hastigheten och att ett toppvärde på ca 7 m/s^2 kan "tolereras". Ur detta perspektiv stämmer den valda skalan mycket bra.

6. Mätning av farthinders funktion

6.1 Studieupplägg

De observationer som användes för att studera samband mellan total vibrationskraft och upplevt obehaget i föregående avsnitt har också använts i detta avsnitt för att studera funktion och skillnader mellan olika farthinder. Testslingan bestod totalt av fyra cirkelgupp, fem traditionella platågupp och två platågupp där ramperna är olika långa. Utöver farthinder utmed testslingan har även två busskuddar studerats.

Eftersom olika bilar ger något olika uppmätta vibrationskrafter vid passage av samma farthinder i ungefär samma hastighet, har vi i dessa studier endast använt av resultaten från testerna med samma fordon, en Ford Focus av 2004 års modell. Valet av bil berodde på att denna använts vid flest tester.

Vibrationsmätningar har genomförts 42 ggr på varje farthinder, i huvudsak vid två olika hastighetsnivåer, runt 20 och 40 km/h eller runt 30 och 50 km/h. De exakta hastigheterna är uppmätta på mer än en kilometers noggrannhet.

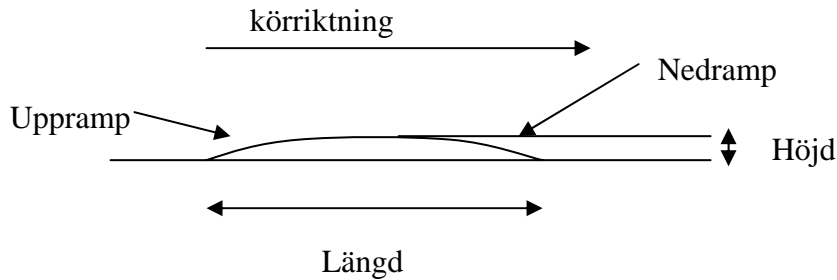
6.2 Cirkulära gupp

Funktionen hos fyra cirkulära gupp av den Wattska typen har studerats, se figur 6:1. Samtliga är byggda efter samma ritning men de verkliga måtten skiljer sig något åt, se figur 6:2 och tabell 6:1.



Figur 6:1

Cirkelgupp



Figur 6:2 Profil av cirkulärt gupp

Tabell 6:1 Uppmätta mått på de studerade guppen

| Observation | Längd (m) | Höjd (m) | Båglängd (m) | Lutning upp (°) | Lutning ner (°) |
|-------------|-----------|----------|--------------|-----------------|-----------------|
| Gupp 1 | 3,50 | 0,09 | 3,60 | 5 | 5 |
| Gupp 2 | 3,40 | 0,08 | 3,45 | 3 | 6 |
| Gupp 3 | 3,65 | 0,14 | 3,72 | 6 | 3 |
| Gupp 4 | 3,65 | 0,12 | 3,70 | 5 | 5 |

Angiven höjd är höjden på högsta punkten i vägbulan. Lutningen på ramperna är ett medelvärde av mätningar på flera ställen över vägbulan. Lutningarna är mätta från horisontellt läge. Skiljer upp- och nerlutningsvinkel innebär det att guppet inte blivit riktigt cirkulärt.

I tabell 6:2 redovisas resultaten av accelerationsmätningarna. För varje observation finns 21 mätningar med körning i ungefär samma hastighet. Av dessa enskilda 21 observationer har ett medelvärde beräknats för hastigheten, beräknad accelerationskraft och det av testpersonerna upplevda obehaget.

Tabell 6:2 Medelhastighet, medelacceleration och medelvärdet för upplevt obehag för cirkelguppen.

| Observation | Medelhastighet (km/h) | Medelacceleration (m/s ²) | Medelvärdet för upplevt obehag |
|-------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Gupp 1 a | 18 | 3,6 | 0,6 |
| Gupp 2 a | 19 | 3,4 | 0,9 |
| Gupp 3 a | 25 | 4,7 | 2,2 |
| Gupp 4 a | 26 | 5,2 | 2,4 |
| Gupp 1 b | 36 | 5,1 | 2,0 |
| Gupp 2 b | 37 | 4,7 | 2,0 |
| Gupp 3 b | 43 | 8,1 | 3,6 |
| Gupp 4 b | 44 | 10,1 | 4,0 |

Tabellen visar att när man passerar Gupp 1 och 2 i runt hastigheten 20 km/h uppstår krafter runt 3,5 m/s² och upplevs som på gränsen mellan behagliga

och något lite obehagliga (se tabell 5:6). Alltså har de här den funktion som eftersträvas. Ökar hastigheten till över 30 km/h (36-37 km/h) ökar krafterna till runt 5 m/s² och obehaget endast till nästa gräns, alltså till gränsen för ganska obehagligt, inte mer. Detta beror sannolikt på att dessa båda gupp är för låga, 8 respektive 9 centimeter.

Ser man på guppen 3 och 4, som är 14 respektive 12 centimeter höga, skapar dessa ungefär samma kraftpåverkan runt 25 km/h som guppen 1 och 2 gör i 35 km/h. De ligger alltså på gränsen till ganska obehagligt i 25 km/h. Ökar man hastigheten till mellan 40 och 45 km/h är gupp 3 och 4 obehagliga eller mycket obehagliga att passera.

Vidare kan vi konstatera att gupp 4 ger högre kraftpåverkan än gupp 3 vid samma hastighet, trots att den är 2 centimeter lägre. Det som skiljer dem åt är framför allt vinkeln i nedfarten, där gupp 4 är brantare än gupp 3. Samma sak gäller mellan gupp 1 och 2, där gupp 1 ger något högre värden än gupp 2 och där gupp 1 är brantare, fast här i uppfarten.

Slutsatsen av dessa tester är att gupp 1 och 2 har en funktion som lämpar sig för en hastighetsdämpning till runt 40 km/h, medan gupp 3 och 4 har en funktion för hastighetsdämpning till runt 30 km/h. Förutom guppens längd och höjden spelar lutningsvinklarna i upp- och nedfarterna viktig roll för funktionen.

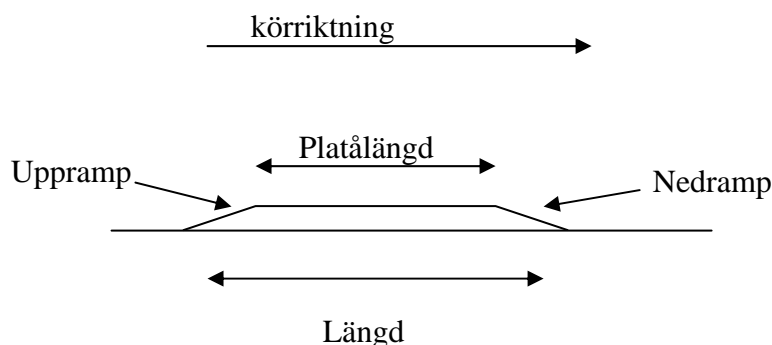
6.3 Platågupp

Funktionen hos sju platågupp har studerats, varav fem av den traditionella typen, se figur 6:3, och två med långa nerfartsramper.



Figur 6.3 Platågupp

För platåguppen mättes höjd, rampernas och platåns längder, samt rampernas lutning. Rampernas lutning mäts på flera ställen och det är medelvärdet som redovisas i tabellen nedan, se figur 6:4 och tabell 6:3. Beroende på sättningar och slitage är ibland rampernas vinklar svåra att mäta, och att spridningen runt medelvärdet kan vara stort.



Figur 6:4 Profil av platågupp

Tabell 6:3 Uppmätta längder och lutningar på platåguppen

| Observation | Uppramp | | Platå | | Nedramp | |
|-------------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| | Längd (m) | Vinkel (°) | Längd (m) | Höjd (m) | Längd (m) | Vinkel (°) |
| Platågupp 1 | 0,85 | 5 | 2,97 | 0,09 | 0,85 | 7 |
| Platågupp 2 | 0,85 | 8 | 2,99 | 0,10 | 0,85 | 5 |
| Platågupp 3 | 0,84 | 9 | 2,98 | 0,11 | 0,84 | 6 |
| Platågupp 4 | 1,04 | 6 | 3,86 | 0,11 | 1,04 | 6 |
| Platågupp 5 | 1,05 | 6 | 19,7 | 0,09 | 1,05 | 4 |
| Platågupp 6 | 0,94 | 7 | 6,3 | 0,11 | 4,00 | 1 |
| Platågupp 7 | 0,94 | 5 | 5,5 | 0,10 | 4,60 | 1 |

Som synes är platåguppen 6 och 7 annorlunda i sin uppbyggnad än de övriga. Upprampen är densamma medan nedrampen är 4-5 gånger längre för att minska lutningen och därmed obehaget i frånpassagen.

I tabell 6:4 redovisas resultaten av accelerationsmätningarna. För varje observation finns 21 mätningar med körning i ungefär samma hastighet. Av dessa enskilda 21 observationer har ett medelvärde beräknats för hastigheten, beräknad accelerationskraft och det av testpersonerna upplevda obehaget. Observationerna är ordnade efter uppmätt medelhastighetsnivå. Vid fyra av platåguppen finns två observationer som vardera är medelvärden kring olika hastighetsnivåer.

Tabell 6:4 Medelhastighet, medelacceleration och medelvärdet för upplevt obehag vid passage av olika platågupp.

| Observation | Medelhastighet (km/h) | Medelacceleration (m/s ²) | Medelvärdet för upplevt obehag |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Platågupp 4 a | 19 | 5,3 | 0,6 |
| Platågupp 5 a | 20 | 4,1 | 0,4 |
| Platågupp 1 | 20 | 5,2 | 1,0 |
| Platågupp 2 a | 26 | 5,7 | 2,8 |
| Platågupp 3 a | 26 | 7,2 | 3,8 |
| Platågupp 4 b | 26 | 4,8 | 1,6 |
| Platågupp 5 b | 29 | 4,0 | 1,3 |
| Platågupp 2 b | 34 | 7,8 | 3,9 |
| Platågupp 3 b | 35 | 8,1 | 4,7 |
| Platågupp 6 | 36 | 3,9 | 1,4 |
| Platågupp 7 | 44 | 6,4 | 2,3 |

I samtliga fall ligger medelaccelerationskraften över nivån för behagligt (3,5 m/s²), trots låga hastigheter vid tre observationer. Platåguppen 4 och 5 ger ungefär samma accelerationsvärden i 20 km/h som vid strax under 30 km/h. Dessa båda har längre ramper än de övriga traditionella platåguppen.

Platågupp 3 är det platågupp som ger de högsta accelerationsvärdena. Det är också detta platågupp som har störst vinkel i uppfarten. Vidare kan vi konstatera att den förlängda nedrampen som platåguppen 6 och 7 har, ger betydligt lägre värden i jämförelse med övriga i motsvarande hastigheter.

Slutsatsen är platågupp inte har samma tydliga samband mellan hastighetsnivå och uppmätta krafter som cirkulära guppen. Redan vid låga hastigheter kan de ge relativt höga accelerationsvärden, som sedan inte ökar förrän man kommer till en viss gräns, och då kan den öka desto kraftigare. Dessutom tycks det förekomma en stor spridning kring det upplevda obehag vid uppmätta accelerationskrafter runt 4-5,5 m/s², vilket är olyckligt för ett farthinder eftersom det är just där den känsliga gränsen mellan det som endast är lite obehagligt och det som är ganska obehagligt bör vara tydlig.

Jämförelse med cirkulära gupp som fartdämpare till 30 km/h

Det vanligaste är att både platågupp och cirkulära gupp används till att dämpa hastigheterna till max 30 km/h. Så har syftet också varit med de i detta projekt undersökta farthindren. En önskvärd medelhastighet över själva farthindret är då normalt 25 km/h. Farthindren bör sedan ligga med ett avstånd på 50-75 meter för att hastigheten ska bli jämn och inte avsevärt överskida 30 km/h mellan farthinderna.

Farthindrets funktion mellan hastigheterna 25 och 30 km/h är då särskilt intressant. Det ideala är om man vid den undre gränsen (25 km/h) upplever

att det är på gränsen till ganska obehagligt (obehagsnivå 2) och vid den övre gränsen att det är på gränsen till obehagligt (obehagsnivå 3). Enligt vår modell, se tabell 5:6, bör man vid 25 km/h ligga på accelerationskrafter runt $5,3 \text{ m/s}^2$, och vid 30 km/h runt $7,0 \text{ m/s}^2$.

I våra studier har vi sex observationer med medelhastigheten mellan 25 och 30 km/h, två med cirkulära gupp och fyra med platågupp. Resultaten av våra observationer är sammanställda i tabell 6:5 nedan.

Tabell 6:5 Accelerationer, hastigheter och upplevt obehag över vägbulor vid liknande hastighet

| Observation | Medelhastighet (km/h) | Medelacceleration (m/s^2) | Medelvärdet för upplevt obehag |
|--------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Cirkelgupp 3 | 25 | 4,7 | 2,2 |
| Cirkelgupp 4 | 26 | 5,2 | 2,4 |
| Platågupp 2 | 26 | 5,7 | 2,8 |
| Platågupp 3 | 26 | 7,2 | 3,8 |
| Platågupp 4 | 26 | 4,8 | 1,6 |
| Platågupp 5 | 29 | 4,0 | 1,3 |

Uppmätta accelerationsvärden varierar betydligt, från $4,0$ till $7,2 \text{ m/s}^2$, och tyvärr inte i förhållandet till hastighetsnivån. De ideala värdena borde vara $5,3 \text{ m/s}^2$ vid 25 km/h och $7,0 \text{ m/s}^2$ vid 30 km/h, vilket ger ungefär $5,6 \text{ m/s}^2$ vid 26 km/h, $6,0 \text{ m/s}^2$ vid 27 km/h, $6,3 \text{ m/s}^2$ vid 28 km/h och $6,7 \text{ m/s}^2$ vid 29 km/h.

Cirkelgupp 4 och platågupp 2 ser ut att vara de som ligger närmast idealet för farthinder till 30 km/h. Platågupp 3 och 5 är båda olämpliga men på olika sätt, och de övriga två är acceptabla.

6.4 Busskudde

Två busskuddar studerades, se figur 6:5. Studierna blev inte lika omfattande som för cirkelgupp och platågupp eftersom dessa inte ingick i den ordinarie testslingan. Busskuddarna passerades nio gånger och samtidigt registrerades accelerationskrafterna under förare- respektive passagerarsätet.



Figur 6:5 Busskudde

Kuddarna är prefabricerade och har därmed samma mått. Bottenplattan har längden 3,6 meter och bredden 2,0 meter. Kuddens överyta, själva plattan, har längden 2,0 meter och bredden 1,2 meter. Främre och bakre ramp (i körriktningen) är 0,8 meter långa med lutningsvinkel 4-5 grader. Sidoramperna är 0,4 meter breda och får en lutning mellan 8-12 grader.

I sju av testerna körde förarna rakt över kuddarna så att kudden gränslades på mitten, medan i två av tester körde föraren med ena hjulet över mitten på kudden och det andra vid sidan av kudden. I tabell 6:6 redovisas resultaten av körningar på normalt sätt och tabell 6:7 då endast ett hjulpar var uppe på kudden. Testerna är ordnade efter hastighet över busskudden. Värdena i tabellen är enskilda observationer och inga medelvärden av flera observationer som vid tidigare redovisade studier.

Tabell 6:6 Resultat vid normal överkörning av busskudde

| Observation | Busskudde | Hastighet (km/h) | Acceleration (m/s^2) | |
|-------------|-----------|------------------|--------------------------|-------------|
| | | | Förare | Passagerare |
| 1 | 1 | 13 | 3,2 | 2,7 |
| 2 | 2 | 16 | 2,8 | 3,1 |
| 3 | 1 | 25 | 5,3 | 5,0 |
| 4 | 2 | 28 | 4,3 | 4,3 |
| 5 | 1 | 33 | 3,8 | 4,2 |
| 6 | 1 | 42 | 4,6 | 5,2 |
| 7 | 2 | 42 | 3,0 | 3,2 |

Tabell 6:7 Resultat vid sned körning överkörning av busskudde

| Observation | Busskudde | Hastighet (km/h) | Acceleration (m/s^2) | |
|-------------|-----------|------------------|--------------------------|-------------|
| | | | Förare | Passagerare |
| 8 | 1 | 24 | 3,0 | 3,5 |
| 9 | 2 | 26 | 2,9 | 1,7 |

I test 8 körde föraren med hjulet under passageraren uppe på busskudden och hjulet under föraren bredvid busskudden, och i test 9 det omvända.

Det är svårt att dra några direkta slutsatser från ett så litet observationsmaterial, men det finns ett genomgående tecken på att busskudde 1 ger högre accelerationsvärden än den andra kudden vid motsvarande hastigheter. Trots att de har samma grundmått så har de kanske vid anläggandet blivit lite olika och därmed fått lite olika funktion.

En annan reflektion är att accelerationsvärdena inte tycks ökar efter hastighetsnivån runt 25 km/h. Det är lika obehagligt i 25 km/h som i drygt 40 km/h, vilket kanske inte är bra om man vill få ned topphastigheterna.

En tredje reflektion är att accelerationskrafterna tycks bli lägre både vid förarplats och vid passagerarplats om man enbart kör upp med ett hjulpar på kudden i stället för båda (jämför observation 3 och 4 med 8 och 9).

7. Slutsatser och kommentarer

Metoden som utvecklats i detta arbete ger väghållare, såsom vägverket eller kommuner, möjlighet att på ett enkelt och billigt sätt utföra egna funktionskontroller på sina farthinder. Studierna visar också att farthinder som byggts efter samma ritning har sällan samma funktion i verkligheten. Även prefabricerade farthinder som busskuddar kan få olika funktion beroende på detaljer i hur de anlagts. Detta visar på behovet av att göra funktionskontroller även på nya farthinder.

Studierna visar att det finns ett klart samband mellan graden av uppmätta vibrationskrafter enligt denna metod och det upplevda obehaget, framför allt för farthinder som gupp av olika slag. En redan nu användbar sambandsmodell har tagits fram i detta projekt för funktionsstudier av denna typ av farthinder. Sambandet är oberoende av kön, ålder och om man är förare eller passagerare. Det som dock påverkar skalan är vilket fordon man använder. Vissa fordon dämpar vibrationskrafterna mer än andra. Vid praktisk användning av den framtagna modellen måste man vara medveten om detta och därför utföra studierna med samma fordon så att resultaten från olika farthinder kan bli jämförbara. Man bör inledningsvis också genomföra några tester så att man ”kalibrera” fordonet till modellen.

När det gäller farthinder som ska ge obehagsupplevelser genom krängning i fordonet tycks dessa krafter inte upplevas lika obehagliga som krafterna upp och ner, såsom vid gupp. Den sambandsmodell som används vid gupp blir därför inte riktigt tillämplig för dessa farthinder. Beräkningsmodellen summerar krafterna i de tre riktningarna under tiden man utsätts för påverkan, och vid krängningar kan denna tid bli lång och därmed också den sammanlagda kraftpåverkan. Ett skalfilter för krafter i sidled bör uppenbarligen införas om sådana farthinder ska kunna jämföras med gupp i samma sambandsmodell. Det har dock inte funnits möjlighet att studera detta inom ramen för detta arbete.

Med en rimlig utvecklingsinsats ser vi det som klart möjligt att med den framtagna utrustningen ta fram en sambandsmodell som håller för kraftpåverkan i alla riktningarna. Då skulle t ex modellen även kunna användas för komfortstudier i kollektivtrafikfordon och kunna relatera olika körstilar till passagerarnas upplevda komfort, att kunna studera skillnader i kraftpåverkan på olika platser i fordonet etc, etc.

8. Referenser

Andersson J, Tage (1988). *Impulsartade rörelser och deras betydelse för resenärens bekvämlighet*. Transportforskningsberedningen.

Bjarnason, Sigurdur (2004). *Round top and flat top humps*. Lunds Tekniska Högskola.

Elvik, R, m fl. *Effektkatalog for trafikksikkerhetstilltak, TØI-rapport 572/2002*.

Granlund, Johan (2000). *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar*. Vägverket – vägavdelningen.

Hagberg Forss, Maria. *Vibrationer*. Arbetsmiljöverkets författningssamling (2005).

Hylund B, Sonya (1998). *Skador och besvär av vibrationer – en jämförelse mellan kvinnor och män*. Arbetslivsinstitutet.

ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body-vibration (1997). International Organization for Standardization. 2. uppl.

ISO 2631-5, Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body-vibration (2004). Swedish Standards Institute.

Johansson, Börje (1989). *Komfort I kollektivtrafiken*. Chalmers Tekniska Högskola – Institutionen för transportteknik.

Kennedy, J et al (2004). *Impact of road humps on vehicles and their occupants*. TRL Limited.

Kommunförbundet, Vägverket, Rikspolisstyrelsen.(1997) *Säkrare trafikmiljö i tätort*.

Kommunförbundet (1998) *Lugna gatan*

Kåvestam, Henrik & Malkki, Tony (1986). *Vägbulor – geometriska förändringar med tiden*. Chalmers Tekniska Högskola.

Linderholm, Leif & Svedberg, Åke (1992). *Säkrare trafik i vår kommun*. Trafiksäkerhetsrådets SÄTIK-grupp.

Lundström, Ronnie (2000). *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar. En förstudie*. Arbetslivsinstitutet.

Markung, Benny (2002). Sweco VBB Viak AB. *Konsekvenser av farthinder (gupp / vägbulor)*.

Nollvisionen och det trafiksäkra samhället, Proposition 1996/97:137

Skånetrafiken (2000). *Bussar och Lugna gatan*.

Spolander, Krister (1999). *Staden Bilen Farten*. NTF:s Förlag och Servica AB.

Steen, Malin & Hageback Charlotte (2000). Sweco VBB Viak AB. *Bussar och bulor*.

Svensson, Tomas & Hedström, Ragnar (2003). *Hastighetsdämpande åtgärder och integrerad stadsplanering*. Väg- och transportforskningsinstitutet.

Vägverket , *VU 94 supplement 4 Miljöprioriterad väg* (2000).

Vägverket och NTF (1997) *Hastighetsgränserna ger säkerhet och miljövinster*.

Internetkällor

Arbetslivsinstitutet. <<http://umetech.niwl.se/temavibration/vibniva.lasso>> Hämtat 25/8 2005

Karlstads Universitet.

<http://www.cs.kau.se/stat/Tandhyg/ak3/ht03/Del_2/15.shtml> Hämtat 16/12 2005

Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/44/EG (2002).

<http://www.haltagningsentreprenorerna.se/info/filer/eu-direktiv_200244EG-vibrationer.pdf> Hämtat 25/8 2005