



**LUND**  
UNIVERSITY



**SIMULERING AV STOMLJUD MED  
HJÄLP AV GÅNGMÖNSTERSTATISTIK**

JIMMY CLAEISSON

---

Engineering  
Acoustics

*Master's Dissertation*

---



*Department of Construction Sciences*  
Engineering Acoustics

ISRN LUTVDG/TVBA--08/5038--SE (1-134)  
ISSN 0281-8477

# SIMULERING AV STOMLJUD MED HJÄLP AV GÅNGMÖNSTERSTATISTIK

Examensarbete utfört av  
JIMMY CLAESSION

Handledare

Delphine Bard, Dr.Sc., Avd. f. teknisk akustik  
Kent Persson, TeknDr, Avd. f. byggnadsmekanik

Examinator

Göran Sandberg, Professor, Avd. f. byggnadsmekanik

Copyright © 2008 by Engineering Acoustics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS I Lund AB, Lund, Sweden, July 2008.

For information, address:  
Division of Engineering Acoustics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: <http://www.akustik.lth.se>



## **Abstract**

How people walk is very individual and even their personal style of walking may change throughout their lives. But it could be that the people of the same sex with the same height, weight and age would have a way of walking with great similarities in terms of feet angle and length of the stride. This project examined the geometric walking pattern experimentally of 150 men between 170 and 190 cm. Each of the subjects had to walk with paint on their feet, a three-metre long stretch of paper. From the walking pattern that was created on paper the values of a number of variables was extracted and examined statistically. These data were divided into 5 groups to investigate the link with height. The 5 groups were 170-175, 176-180, 181-185, 186-190 and the entire sample.

The results of the survey were that the variables that describe the walking pattern can be divided into two separate groups, those who have a connection with the height and those who do not. The characteristics that have a connection to the height are the ones that work in the direction that the person is walking. However, these variables are probably not linked to the whole body, but only length of the legs of the person. The variables that are not connected to the height has to do with the width of walking pattern and this is probably linked to the width of the pelvis. From all this statistical data a number of Markov chains was constructed that described the change in the variable value from stride to stride. These would be used to examine if it was possible that, instead of using the conventional method of calculating the amount of sound that is transmitted because of footsteps, take advantage of a simulation with the finite-element method and investigate the transmission in a computer. The FEM-simulation that was carried out showed that it is possible to simulate walking on the floor in a computer and calculate vibrations so that it is possible to evaluate the different structures and to avoid the worse ones.

Keywords: Markov chains, Stride, Walking pattern, FEM, Vibrations



## Sammanfattning

Hur människor går är väldigt individuellt och ens personliga gångstil ändras genom hela livet. Men det skulle kunna vara så att personer av samma kön med samma längd, vikt och ålder skulle ha ett gångmönster med stora likheter vad gäller fötternas vinkel och stegens längd. I detta projekt undersöktes det geometriska gångmönstret experimentellt på 150 män mellan 170 och 190 cm. Var och en av försökspersonerna fick gå med färg på fötterna en tre meter lång sträcka på papper. Ur det gångmönster som skapades på pappret extraherades ett antal variablers värden och undersöks statistiskt. Dessa data delades upp i 5 grupper för att undersöka kopplingen till kroppslängd. De 5 grupperna var 170-175, 176-180, 181-185, 186-190 och hela provgruppen.

Resultatet på undersökningen var att variablerna som beskriver gångmönstret kan delas upp i två separata grupper, de som har en koppling till kroppslängden och de som inte har det. De variabler som har en koppling till längden är de som fungerar i gångens riktning dvs. steglängden. Dock är dessa variabler antagligen inte kopplade till hela kroppslängden utan bara till benlängden. Variablerna som inte är kopplade till kroppslängden har att göra med bredden på gångmönstret och denna är antagligen kopplad till bredden på bäckenet.

Ur all denna statistiska data byggdes ett antal Markovkedjor upp som beskrev förändringen av variablernas värde från steg till steg. Dessa skulle användas för att undersöka ifall det var möjligt att, istället för att använda den konventionella metoden för stegljudisolering, utnyttja en simulering med finita element och göra det i en dator. FEM-simuleringen som utfördes visade på att det är möjligt att simulera gång på golv och beräkna vibrationerna så att det är möjligt att utvärdera olika konstruktioner och undvika de sämre.

**Nyckelord:** Markovkedjor, Fotsteg, Gångmönster, FEM, Vibrationer





## **Förord**

Denna rapport är dedikerad till alla de lekfulla pojkar (och män) som "hjälpt vetenskapen ta ett steg framåt..." och varav många dragit detta skämt...

Jag vill tacka mina handledare Delphine Bard och Kent Persson för all hjälp och ledning.



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### Innehållsförteckning

Abstract .....	3
Sammanfattning .....	5
Förord .....	7
Lista över termer .....	13
Lista över figurer .....	15
1 Introduktion .....	17
1.1 Bakgrund .....	17
1.2 Mål .....	17
1.3 Lättviktsbjälklagskonstruktion .....	18
2 Teori .....	19
2.1 Akustik .....	19
2.2 Böjvågor .....	21
2.3 Stomljud .....	22
2.3.1 Fotsteg .....	23
2.3.2 Transmission av stegljud .....	24
3 Insamling av gångmönsterdata .....	27
3.1 Försökspersoner .....	27
3.2 Experimentet .....	27
3.3 Mätning .....	31
4 Markovkedjor .....	35
4.1 Teori .....	35
4.2 Markovkedjor extraherade från gångmönsterstatistik .....	36
4.2.1 Markovkedjorna för d1 .....	37
4.2.2 Markovkedjorna för d2 .....	39
4.2.3 Markovkedjorna för d3 .....	40
4.2.4 Markovkedjorna för l1 .....	42
4.2.5 Markovkedjorna för L1 .....	43
4.2.6 Markovkedjorna för L2 .....	45
4.2.7 Markovkedjorna för D1 .....	47
4.2.8 Markovkedjorna för D2 .....	49
5 FEM-simulering .....	51
5.1 Bjälklag .....	51
5.2 Elementen .....	51
5.3 Lasterna .....	52
5.4 Beräkningar .....	54
6 Resultat .....	57
6.1 Uppbyggnad av försöksgruppen .....	57
6.2 Fördelningen av de olika variablerna .....	59
6.2.1 Variabeln l1: längd på fotavtryck i gångriktningen .....	60
6.2.2 Variabeln L1: längden mellan bakre delen av hälarne på två fotavtryck ..	61
6.2.3 Variabeln L2: längden mellan mittersta tårna på två fotavtryck .....	62
6.2.4 Variabeln d1: avstånd mellan inre delarna av hälarne på två fotavtryck ..	63

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

6.2.5 Variabeln d2: avstånd mellan andra tån och inre delen av hälen på ett fotavtryck	64
6.2.6 Variabeln d3: avstånd mellan bakersta delen på hälen och inre delen av hälen på ett fotavtryck	65
6.2.7 Variabeln D1: avstånd mellan bakersta delarna på hälarna på två fotavtryck	66
6.2.8 Variabeln D2: avstånd mellan tredje tårna på två fotavtryck	67
6.2.9 Variabeln $\theta$ : vinkeln på foten	68
6.2.10 Sammanfattning av tendenser hos de olika variablerna	68
6.3 FEM-simulering	69
6.4 Jämförelse mellan Eigenmodberäkning och FEM-simulering	73
7 Slutsats	75
7.1 Förslag till fortsatta studier	76
Bibliografi	77
Appendix A Markovkedjor för de enskilda längdgrupperna	79
Markovkedjor för d1	79
d1 <sub>170-175</sub>	79
d1 <sub>176-180</sub>	80
d1 <sub>181-185</sub>	82
d1 <sub>186-190</sub>	84
Markovkedjor för d2	86
d2 <sub>170-175</sub>	86
d1 <sub>176-180</sub>	87
d2 <sub>181-185</sub>	88
d2 <sub>186-190</sub>	89
Markovkedjor för d3	90
d3 <sub>170-175</sub>	90
d3 <sub>176-180</sub>	92
d3 <sub>181-185</sub>	94
d3 <sub>186-190</sub>	96
Markovkedjor för l1	98
l1 <sub>170-175</sub>	98
l1 <sub>176-180</sub>	99
l1 <sub>181-185</sub>	100
l1 <sub>186-190</sub>	101
Markovkedjor för L1	102
L1 <sub>170-175</sub>	102
L1 <sub>176-180</sub>	104
L1 <sub>181-185</sub>	106
L1 <sub>186-190</sub>	107
Markovkedjor för L2	110
L2 <sub>170-175</sub>	110
L2 <sub>176-180</sub>	112
L2 <sub>181-185</sub>	114
L2 <sub>186-190</sub>	116
Markovkedjor för D1	118
D1 <sub>170-175</sub>	118
D1 <sub>176-180</sub>	120

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

D1 <sub>181-185</sub> .....	122
D1 <sub>186-190</sub> .....	124
Markovkedjor för D2 .....	126
D2 <sub>170-175</sub> .....	126
D2 <sub>176-180</sub> .....	128
D2 <sub>181-185</sub> .....	130
D2 <sub>186-190</sub> .....	132
Appendix B CALFEM-kod till Dynamisk simulering av golv .....	135
Appendix C Matlabkoden för Markovkedjorna som beskriver d1 .....	139



## Lista över termer

L1 avstånd mellan hälar på två fotavtryck  
L2 avstånd mellan mittersta tårna på två fotavtryck  
l1 längd på fotavtryck i gångriktningen  
d1 avstånd mellan inre delarna av hälar på två fotavtryck  
d2 avstånd mellan andra tån och inre delen av hälen på ett fotavtryck  
d3 avstånd mellan bakersta delen på hälen och inre delen av hälen på ett fotavtryck  
D1 avstånd mellan bakersta delarna på hälar på två fotavtryck  
D2 avstånd mellan tredje tårna på två fotavtryck  
 $\theta$  vinkeln på foten  
 $L_n$ : Korrigerad tersbands-stegljudsnivå  
 $L_2$ : Mottagarummets ljudtrycksnivå  
 $A_2$ : Mottagarummets ekvivalenta absorptionsarea  
 $A_0$ : Referensarea i mottagarrummet som är  $10 \text{ m}^2$   
 $P_2$ : Effektivvärdet på det spatiala medelljudtrycket i mottagarrummet  
 $P_{ref}$ : Referensljudtrycket som är  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$   
 $B$  är  $EI$  en böjstyvhets  
 $E$  är elasticitetsmodulen  
 $I$  är tröghetsmomentet  
 $\rho$  är densiteten  
 $S$  är tvärsnittsarean  
Fältstorheten  $V$  är vibrationshastigheten transversellt till x-riktningen  
 $P$  överföringsmatris för en markovkedja  
 $p(n)$  fördelningsvektor för det n:te steget för en markovkedja  
 $W$  värdevektor för överföringsmatrisen och fördelningsvektorn för en markovkedja  
 $c_b$  är böjvågshastigheten  
 $\mu$  är Poissons tal  
 $h$  är plattjockleken  
 $m$  är plattans massa per areaenhet  
 $f$  är frekvensen  
 $L_v$  är vibrationsnivån på bjälklaget  
 $\tilde{v}$  är den normerade genomsnittliga hastigheten för mittdelen av golvet  
 $v_{ref}^2$  är referenshastigheten vilken är  $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$





## Lista över figurer

Figur 1 Lättviktsbjälklaget .....	18
Figur 2 Fletcher Munson kurvor över ekvivalent loudness [8].....	20
Figur 3 Viktningskurvor för olika ljudtrycksnivåer [7] .....	20
Figur 4 Böjvåg över (A) respektive under (B) den kritiska frekvensen [2] .....	22
Figur 5 De olika stadierna i ett steg och de vibrationer som uppkommer.....	23
Figur 6 Stegljudsisoleringsmetodiken [2].....	25
Figur 7 Bild på korridor med experimentetuppställningen.....	27
Figur 8 Datainsamling .....	28
Figur 9 En korrekt målad fot .....	29
Figur 10 Gång med färg .....	30
Figur 11 Två fotsteg med de olika variablerna och deras beteckningar.....	31
Figur 12 Bild på första fotavtrycket med siffror.....	32
Figur 13 Bild på ett annat fotavtryck med siffror.....	32
Figur 14 Modellgraf för Carl-Gustaf's bonusklass .....	35
Figur 15 Plattelementens olika frihetsgrader .....	52
Figur 16 Elementnätet .....	52
Figur 17 De olika stegen över tiden.....	53
Figur 18 De använda excitationpunkterna vid simulering .....	54
Figur 19 Det område som den genomsnittliga hastigheten beräknas på.....	55
Figur 20 Åldersfördelning på försökspersonerna.....	57
Figur 21 Skostorlekarna som försökspersonerna hade på sina skor dagen då de utförde försöket.....	57
Figur 22 Vikten hos försökspersonerna utan skor men med normal inomhusklädsel.....	58
Figur 23 Längdfördelningen hos försökspersonerna utan skor vid försökstillfället.....	58
Figur 24 Två fotsteg med de olika variablerna och deras beteckningar.....	59
Figur 25 l1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	60
Figur 26 Fördelningsfunktioner för l1 för alla försökspersoner.....	60
Figur 27 Fördelningsfunktioner för l1 för de respektive olika längdgrupperna.....	60
Figur 28 L1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen .....	61
Figur 29 Fördelningsfunktioner för L1 för alla försökspersoner.....	61
Figur 30 Fördelningsfunktioner för L1 för de respektive olika längdgrupperna.....	61
Figur 31 L2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen .....	62
Figur 32 Fördelningsfunktioner för L2 för alla försökspersoner.....	62
Figur 33 Fördelningsfunktioner för L2 för de respektive olika längdgrupperna.....	62
Figur 34 d1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	63
Figur 35 Fördelningsfunktioner för d1 för alla försökspersoner .....	63
Figur 36 Fördelningsfunktioner för d1 för de respektive olika längdgrupperna .....	63
Figur 37 d2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen .....	64
Figur 38 Fördelningsfunktioner för d2 för alla försökspersoner .....	64
Figur 39 Fördelningsfunktioner för d2 för de respektive olika längdgrupperna .....	64
Figur 40 d3-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	65
Figur 41 Fördelningsfunktioner för d3 för alla försökspersoner .....	65
Figur 42 Fördelningsfunktioner för d3 för de respektive olika längdgrupperna .....	65
Figur 43 D1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	66
Figur 44 Fördelningsfunktioner för D1 för alla försökspersoner .....	66
Figur 45 Fördelningsfunktioner för D1 för de respektive olika längdgrupperna .....	66
Figur 46 D2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	67
Figur 47 Fördelningsfunktioner för D2 för alla försökspersoner .....	67
Figur 48 Fördelningsfunktioner för D2 för de respektive olika längdgrupperna .....	67
Figur 49 D2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen.....	68
Figur 50 Fördelningsfunktioner för D2 för alla försökspersoner .....	68
Figur 51 Fördelningsfunktioner för D2 för de respektive olika längdgrupperna .....	68
Figur 52 Hastigheten över tiden för de fyra excitationpunkterna.....	69

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Figur 53 Förskjutningen för de fyra exciterade punkterna.....	69
Figur 54 Den normerade genomsnittliga hastigheten för en kvadratmeter bjälklagsyta mitt på golvet. ...	70
Figur 55 Hastigheten för hela golvet uppdelat över frekvenser.....	70
Figur 56 Vibrationsnivån över hela golvet .....	71
Figur 57 Hastighetsfördelningen i de 4 punkter som exciteras med steg.....	71
Figur 58 Vibrationsnivå för de fyra excitationpunkterna .....	72
Figur 59 Hastighetstopp vid 216 Hz.....	73
Figur 60 Första Eigenmoden vid 200 Hz.....	73

# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Hur människor går är väldigt individuellt och ens personliga gångstil ändras genom hela livet. Men det skulle kunna vara så att personer av samma kön med samma längd, vikt och ålder skulle ha ett gångmönster med stora likheter vad gäller fötternas vinkel och stegens längd. Denna information skulle då kunna användas till att ta fram datorsimuleringar som kan utföras till en lägre kostnad än att göra tester med olika personer på olika golvkonstruktioner. Då man tidigare vid konstruktionsberäkningar av golv tar bara med utbredda teoretiska laster som innefattar människors närvaro dock tar detta inte hänsyn till att människors fötter kan ses som några punktlaster och därmed påverka golvet och orsaka annorlunda nedböjningar och påfrestningar än en utbred last över hela golvet gör.

Ur dessa datorsimuleringar skulle då nedböjningar, olika ljudutstrålningar både uppåt och nedåt i bjälklag och andra data kunna tas fram utan avancerad mätutrustning.

Då vibrationer och akustiska vågor i bjälklag som initieras av mänsklig gång är beroende av många faktorer, varav många inte är fullt förstådda, är det ett komplext problem att simulera. Några av sakerna som påverkar vibrationerna är hur den mänskliga gången exciterar golvet över tiden, vilken dämpning foten och golvets ytmaterial har, vad för sorts skodon som personen har, hur bjälklagskonstruktionen ser ut samt det geometriska gångmönstret. I detta projekt kommer det att fokuseras på det sistnämnda.

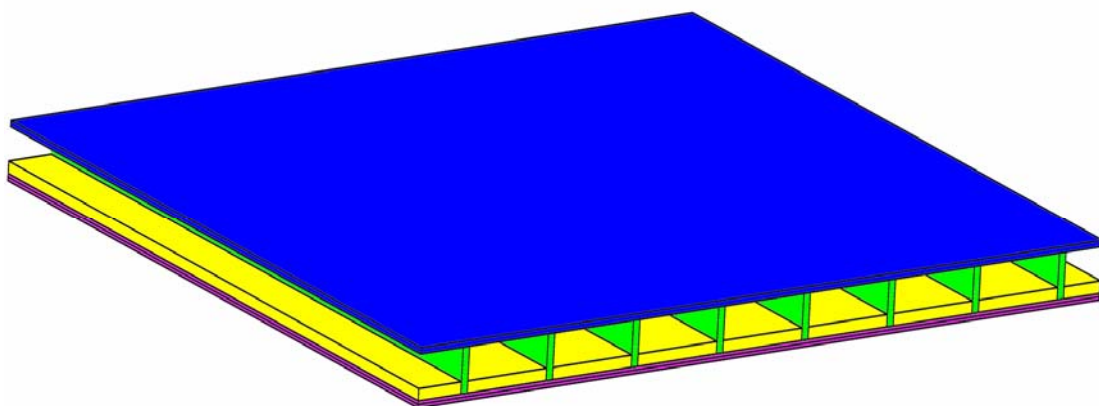
## 1.2 Mål

- I detta arbete ska det geometriska gångmönstret hos manliga studenter med en bred spridning undersökas experimentellt.
- Med hjälp av den insamlade statistiska data göra FEM-simulering i CALFEM för en lättbjälklagskonstruktion i trä.

### 1.3 Lättviktsbjälklagskonstruktion

Den bjälklagssort som användes vid FEM-simuleringen, vilket kommer behandlas mer noggrant senare i rapporten, är en träkonstruktion. Den här typen av konstruktion är populär i länder med mycket skog. Detta framförallt sedan sågmaskiner som tillverkar trävaror med konsekventa mått kom till marknaden. En av svaghetererna med denna konstruktion, jämfört med betongbjälklag, är de stora nedböjningar som uppkommer vid belastning som t.ex. mänsklig gång. Ännu en nackdel är att bjälklagstyngden och den last som uppkommer ifrån fotsteg inte skiljer sig från varandra i storlek.

En vanlig uppbyggnad av ett sådant här bjälklag är en 22 mm spånskiva ovanpå träbalkar som är placerade med ett centrumavstånd på 600 mm. Som undertak är det två 12.5 mm gipsskivor som är fästa direkt vid träbalkarna (se figur 1) med mineralull liggandes ovanpå. De olika delarna av konstruktionen har olika funktioner, balkarna bär hela konstruktionen. Spånskivan ger stabilitet åt konstruktionen och en golvyta åt ovanvåningen. Gipsskivorna fungerar som brandisolering och ljudisolering tillsammans med mineralullen.



**Figur 1** Lättviktsbjälklaget

## 2 Teori

### 2.1 Akustik

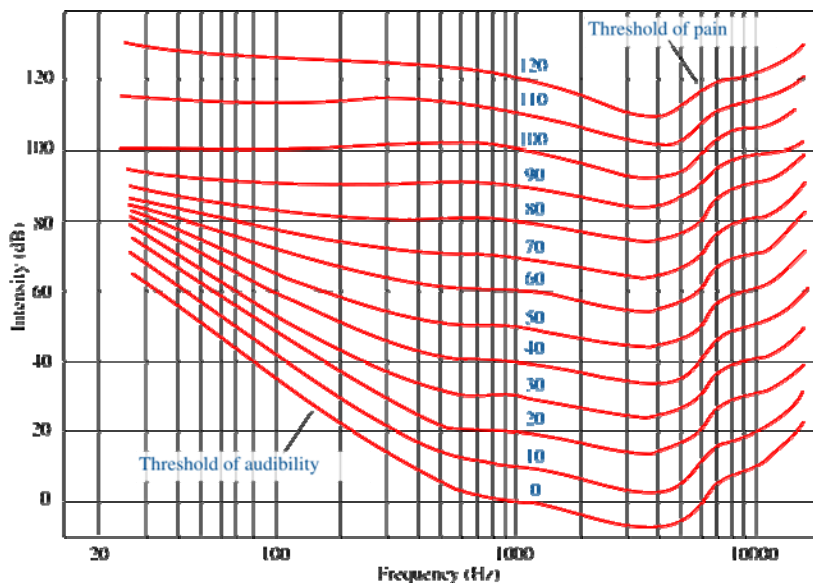
I den värld som människan bebor finns det två sinnen som tolkar fysikaliska händelser på avstånd dels synen men även hörseln. Hörseln tar in information från ljud som sprids i luften, detta kan vara från olika källor t.ex. från tal, musik eller från ett fallande träd i en skog. Alla dessa olika källor har via vibrationer i sig själva skapat vibrationer i luften som sedan färdats till örat där det tolkar de olika frekvenserna som luften vibrerar med till olika toner.

Utifrån detta kan man se att det finns två olika sorters ljud, ljud som propagerar i fluider (t.ex. luft) och ljud som propagerar i solider (som t.ex. trä).

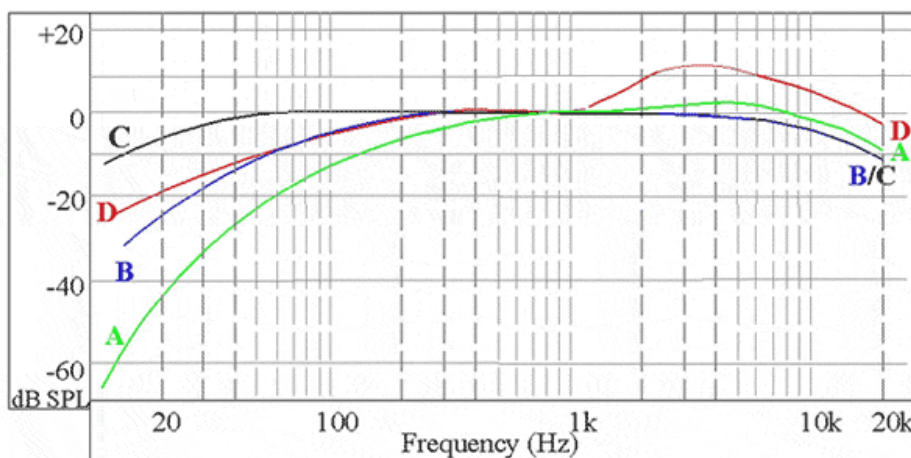
Det frekvensområde som människan kan uppfatta ligger mellan 20-20.000 Hz men behandlas av hörselorganet på ett avancerat sätt vilket gör att det för psykoakustik krävs att det extraheras psykoakustiska värden ur de fysikaliska egenskaperna hos ljudet t.ex. loudness, roughness och sharpness.

Man kan få ut ett antal olika egenskaper som beskriver ljudet i fysikalisk mening t.ex. ljudtryck, ljudtrycksnivå (som är det relativa logaritmiska nivån), ljudintensitet (mängden energi per areaenhet) ljudintensitetsnivå, ljudeffekt, ljudeffektsnivå och ljudenergidensitet. Då den mänskliga hörseln inte uppfattar olika toner vid samma ljudtryck lika starkt (se figur 2) behöver man vikta det för att få en mer korrekt bild. Dessa viktningskurvor finns för tre olika ljudtrycksnivåer, en för 40 dB A-kurvan, en för 70 dB B-kurvan och en för 100 dB C-kurvan (se figur 3).

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



Figur 2 Fletcher Munson kurvor över ekvivalent loudness [8]



Figur 3 Viktningskurvor för olika ljudtrycksnivåer [7]

Vågor kan klassificeras efter riktningen på vibrationerna relativt till den riktning energin färdas i. De tre som finns är longitudinella (kompressions) vågor, där vibrationerna är i samma riktning som energioverföringen, transversella där partiklarna vibrerar vinkelrätt mot energioverföringsriktningen, den tredje typen av våg är torsionsvågor där partiklarna vrider sig fram och tillbaka runt energioverföringsriktningen.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

I fluider sker vibrationerna enbart i longitudinella riktningen i form av områden med högre och lägre densitet medan i solider sker vibrationerna i alla riktningarna (longitudinellt, transversalt och torsionellt). Denna skillnad består främst i att solider motsätter sig volym- och formförändringar medan fluider motsätter sig volymförändringar.

När en ljudsignal eller vibrationssignal ska delas upp i sina olika delfrekvenser blir det lätt att graferna blir svårästa, pga. det så används olika bandfilter för att signals fördelning ska bli överskådlig. De bandfilter som oftast används i byggnadsakustik är tersbandsfilterna och oktavfilterna. Oktavfilterna har sin största användning inom bullermätningar och akustikreglering. Både tersband och oktavband är proportionella mot sina geometriska mittfrekvenser vilka även används som beteckning för varje filter. Frekvensbanden ansluter till varandra så de skapar ett kontinuerligt nät över hela frekvensområdet.

### 2.2 Böjvågor

Den vågtyp som ses som viktigast i strukturakustik är böjvågen detta då böjvågen kan generera och bli genererad av luftljudvågor men också av impuls krafter mot konstruktionen. Om den konstruktionen är tillräckligt tunn och frekvensen tillräckligt låg så kommer longitudinal- och transversalvågorna att samverka till böjvågor.

Denna sorts våg gör så att små inbördes cirkelrörelser i alla plattvärnsnitt och därmed parallella vridningar av plattan i ljudets rörelseriktning.

Böjvågsekvation för endimensionell vågutbredning i x-led:

$$B \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \rho S \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0$$

där:

$B$  är  $EI$  en böjstyvhet

$E$  är elasticitetsmodulen

$I$  är tröghetsmomentet

$\rho$  är densiteten

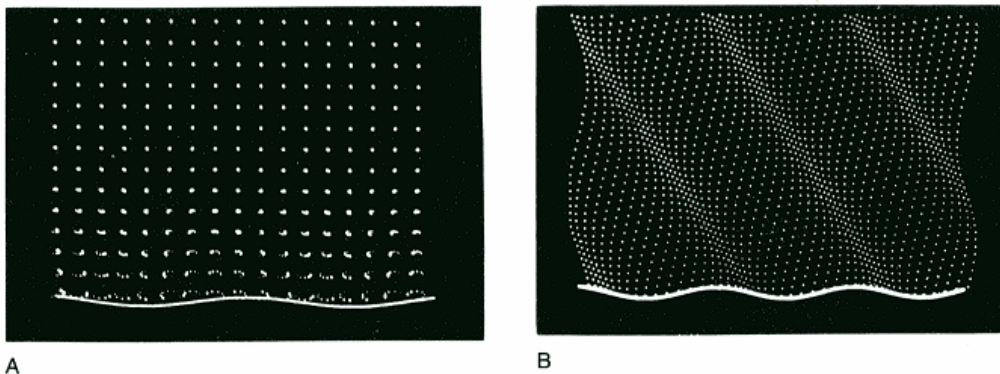
$S$  är tvärsnittsarean

Fältstorheten  $v$  är vibrations hastigheten transversellt till x-riktningen.

Böjvågor har ett fenomen som kallas kritisk frekvens  $f_c$ . Denna kritiska frekvens är viktig vid samspelet mellan plattsvängningarna och luftljud då över den frekvensen går energi omvandlingen från böjvåg till luftljudvåg mycket lättare. Detta beror på att vid den kritiska frekvensen så är ljudhastigheten i plattan  $c_b$  samma som i luften. Det som händer i luften under den kritiska frekvensen är att ljudhastigheten i luften är högre än ljudhastigheten i plattan vilket gör att tryckskillnaderna som uppkommer vid plattans rand i luften utjämnas så att inga ljudvågor skapas Figur 4 del A. Medan vid

### Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

och över den kritiska frekvensen hinner inte ljudtrycket utjämnas vilket gör att ljudvågor uppkommer i luften Figur 4 del B.



**Figur 4** Böjvåg över (A) respektive under (B) den kritiska frekvensen [4]

$$c_b = \sqrt{2\pi f} \sqrt[4]{\frac{Q}{m}}$$
$$Q = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{h^3}{12}$$

$c_b$  är böjvågshastigheten

$\mu$  är Poissons tal

$h$  är plattjockleken

$m$  är plattans massa per areaenhet

$f$  är frekvensen

Den kritiska frekvensen beror på vilket material samt vilken tjocklek plattan har. Detta gör att olika material har sina kritiska frekvenser inom olika områden beroende på inom vilka normalvärden tjockleken brukar ha vilket gör att material som t.ex. lättbetong får sina kritiska frekvenser mitt i talspektrat vilket inte är så attraktivt i flerbostadshus då man kan störas av grannars normala ljud.

### **2.3 Stomljud**

De bärande delarna av ett hus behöver vara sammankopplade för att kunna bära de laster som finns i hus. Tyvärr orsakar detta att ljud kan färdas genom de bärande delarna långa sträckor. T.ex. finns det en historia från Helsingkrona Nation där det berättas att pizzadegsmaskinen, i pizzerian på bottenvåningen, kunde höras till översta våningen genom de vibrationer som den skapade när den vibrerade mot väggen. Det är dock inte bara ljud som skapas genom att en impulskraft eller en vibrerande maskin som färdas genom stommen på byggnader men även ljud från tal och musikanläggningar. Dock skall inte så mycket fokusering läggas på luftljud utan de ljud som initieras i stommen genom fysikaliska belastningar av bjälklaget.



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

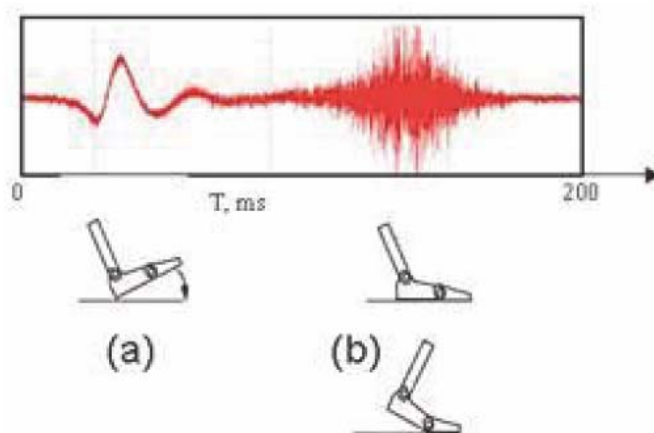
När människor går på bjälklag skapas stomljud som färdas genom bjälklaget, dessa stomljud kan delas upp i två olika sorters stomljud. Först och främst själva stegljudet som beror på att ett lätt hårt objekt träffar en hård yta t.ex. en häl på en sko när man går på ett golv eller slår i en spik i en vägg. Och sedan det ljud som skapas av att hela bjälklaget förskjuts, detta uppkommer t.ex. när kroppstyngden går från en fot till en annan eller från aerobics.

Dessa två olika ljud har olika frekvensspektra, stegljudet är ett mer högfrekvent klickande ljud medan förskjutningsljudet låter mer som en bastrumma.

### 2.3.1 Fotsteg

När en människa går finns det ett antal olika faser under ett steg som var och en orsakar vibrationer i olika delar av frekvensskalan.

De olika faserna är: när hälen slår i på den främre foten, när vikten överförs från den bakre till den främre foten samt när den bakre foten trycker ifrån (se figur 5).



**Figur 5 De olika stadierna i ett steg och de vibrationer som uppkommer.[9]**

När hälen först slår är det den yttre delen av hälen som först får kontakt med gångytan. Sedan sker en gradvis skiftning inåt av belastningen och hålfoten och tårna sätts i. När tårna och hålfoten är på väg att sättas i, slappnar ligamenten i hålfotsvalvet av för att kunna absorbera energi från när den kommer i kontakt med gångytan.

I detta skede skapas det framförallt en impulskraft i normal riktningen men också en, relativt normalkraften, liten friktionskraft. Normalkraften ger vibrationer i "lågfrequensbandet" under 500 Hz (se figur 5,a)..

Skiftet av tyngdpunkt händer precis när den bakre foten börjar lyftas och den främre fotens hålfot och tår når gångytan. I samband med att vikten förs över från den bakre till den främre foten (Figur 5,b) börjar den bakre foten trycka ifrån. I detta skede är hålfoten väldigt spänd till skillnad från vid nedsättningen för att kunna användas som hävstång. Denna rörelse skapar friktionskrafter mot gångytan. Dessa friktionskrafter är de som ger upphov till högfrequensbandet av vibrationer dvs. de vibrationer som har en högre frekvens än 500 Hz.

### Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Då människor har olika gångstilar orsakar olika människor olika lågfrekventa och högfrekventa vibrationsbilder.

#### **2.3.2 Transmission av stegljud**

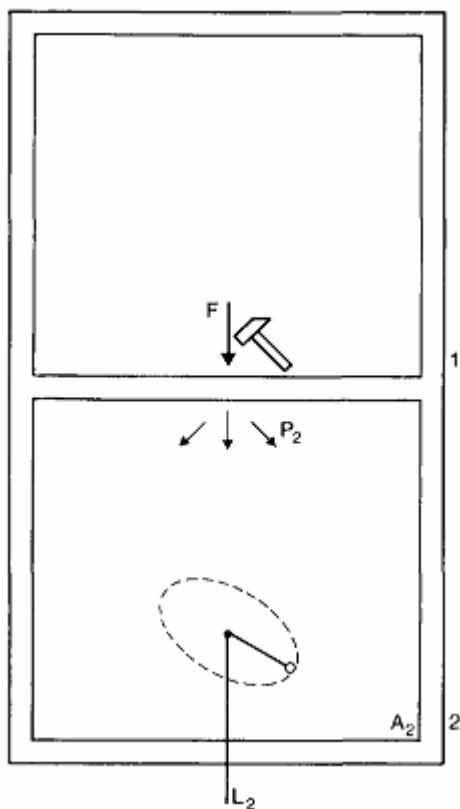
Stegljudstransmission är ett mått på hur mycket av ljudenergin som skapas från steg på våningen ovan som överförs till våningen under. Vid stegljudsisoleringsmätningar mäter man hur stor ljudtransmissionen är. Den använder man sedan denna till att klassificera hur stor stegljudsisoleringen är.

När man ska mäta hur bra på att transmitta ett bjälklag är använder man sig av en standardiserad tappmaskin som består av 5 cylindriska hammare på vardera 0.5 kg som släpps från 4 cm höjd med en frekvens på 10 Hz och drivs med hjälp av en elektrisk motor.

Denna maskin placeras nära mitten på bjälklaget i det övre rummet. Sedan mäter man ett spatialt medelljudtryck i det nedre rummet i tredjedels oktavband från 100 till 3150 Hz. Denna maskin skapar en ton var 10:e Hz så i 100 Hz- tersen skapas toner vid 90, 100 och 110 Hz och vid de högre tersbanden blir det motsvarande fler toner ju större tersbandet är.

Denna klassificeringsmetod tar dock inte hänsyn till förskjutningsljud som kan uppkomma vid gång då kroppstyngden belastar bjälklaget.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



**Figur 6 Stegljudsisoleringsmetodiken [4]**

Den formel som beskriver hur stor mängd stegljud som transmitteras till den nedre våningen är:

$$L_n = L_2 + 10 \log_{10} \left( \frac{A_2}{A_0} \right)$$

där:

$$L_2 = 20 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_{ref}} \right)$$

$L_n$ : Korrigerad tersbands-stegljudsnivå

$L_2$ : Mottagarummets ljudtrycksnivå

$A_2$ : Mottagarummets ekvivalenta absorptionsarea

$A_0$ : Referensarea i mottagarrummet som är  $10 \text{ m}^2$

$P_2$ : Effektivvärdet på det spatiala medelljudtrycket i mottagarrummet

$P_{ref}$ : Referensljudtrycket som är  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ .

### Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Mottagarrummets ljudtryck är det man faktiskt mäter med en mikrofon som sitter längst ut på en i rummet roterande arm. Detta för att man ska få det spatiala medelljudtrycket. Detta värde divideras därefter med referensljudtrycket för att få ett enhetslöst mått på hur starkt ljudet är med då det mänskliga hörseln klarar av ett stort spann av ljudtryck logaritmeras det för ett mer hanterbart värde.

Den andra termen kommer av att rummets innehåll som t.ex. möbler kommer att absorbera en del av den ljudenergi som transmittas till det undre rummet därför måste ekvationen kompletteras med ekvivalenta absorptionsarean som är en summa av vad alla ytor och möbler absorberar och därefter dividerar man med referensarean för att få det enhetslöst och sedan för att få det i samma skala som ljudtrycksnivån logaritmeras det.

Det ska nämnas att det är svårare att klara stegljudsisoleringen med lätta bjälklag än med tunga konstruktioner. Orsaken är att hammarapparaten är framförallt framtagen till att testa betongbjälklag med matta. Vid tunga bjälklag är det skons slag mot golvet som är problemet, men hammarapparaten kan inte simulera de förskjutningsljud som uppkommer av vikten från en människa.

### 3 Insamling av gångmönsterdata

Experimentet som användes för att samla in mätdata utfördes på ett 3 meter långt och 60 cm brett mätpaper. Som förberedelse innan något experiment utfördes gjorde författaren experimentet själv för att ha en uppfattning om vilka problem och frågeställningar som kunde uppkomma av försökspersonerna.

En av de saker som upptäcktes var att det var lätt att tappa balansen då färgen var väldigt hal så försökspersonerna varnades för detta.

#### 3.1 Försökspersoner

Insamlandet av de statistiska data utfördes med hjälp av ett experiment som försökspersoner ombads delta i. Försökspersonerna skulle vara män med en längd mellan 170 och 190 cm och mellan åldrarna 19 och 40. Då många olika personer som uppfyllde dessa kriterier passerade genom Kårhuset valdes detta som en plats att skaffa försökspersoner. Dessa togs sedan till den plats i källaren som försöket satts upp där bakgrunden till experimentet förklarades och hur det skulle gå till.

#### 3.2 Experimentet



**Figur 7 Bild på korridor med experimentetuppställningen**

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Experimentet utfördes i en korridor som var insynsskyddad så försökspersonerna skulle känna sig avkopplade under experimentet. Medan försökspersonerna tog av sig skor och strumpor antecknades längd, ålder och skostorlek och sedan vägdes försökspersonerna.



**Figur 8 Datainsamling**

Sedan skulle försökspersonerna gå minst en gång barfota på det tre meter långa mät-pappret för att koppla av och känna att de kunde gå så som de brukar inomhus och kunna ställa ev. frågor om hur det skulle gå till.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



**Figur 9 En korrekt målad fot**

Därefter målade försökspersonerna hela sina fotsulor med vattenbaserad färg så att det skulle bli avläsbara fotavtryck på pappret, detta fick kontrolleras då det hände att en försöksperson inte målade tårna och därför fick det försöket kasseras. Försökspersonerna gick därefter en gång på pappret.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



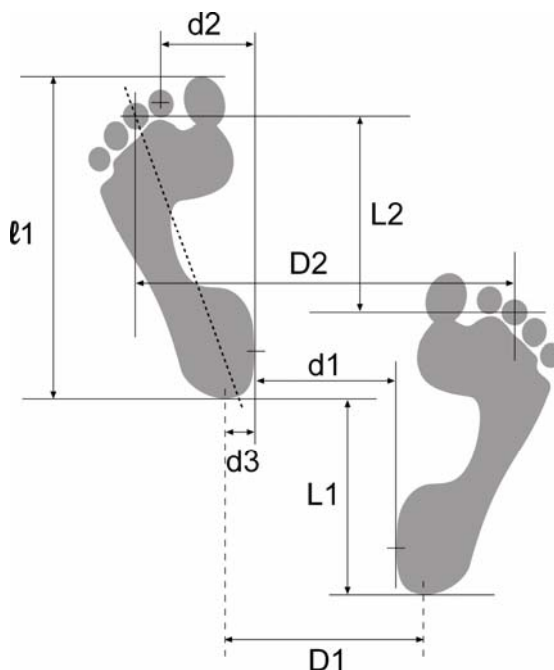
**Figur 10** Gång med färg

Därefter plockades experimentet ner och lades undan så att det inte skulle skadas tills det kunde mätas. Medan detta gjordes svarades det på mer detaljerade frågor om t.ex. exakt vad som skulle mätas och andra saker om ljud. Ibland ställdes dessa frågor innan testet men då ombads försökspersonen vänta med dessa till efter experimentet så inga påverkan skulle ske p.g.a. kunskap om vad exakt som skulle mätas. Efter försökspersonen gått skrevs ålder, längd, vikt och skostorlek ner på försökspappret för att säkerhetsställa att denna information inte skulle försvinna.



### 3.3 Mätning

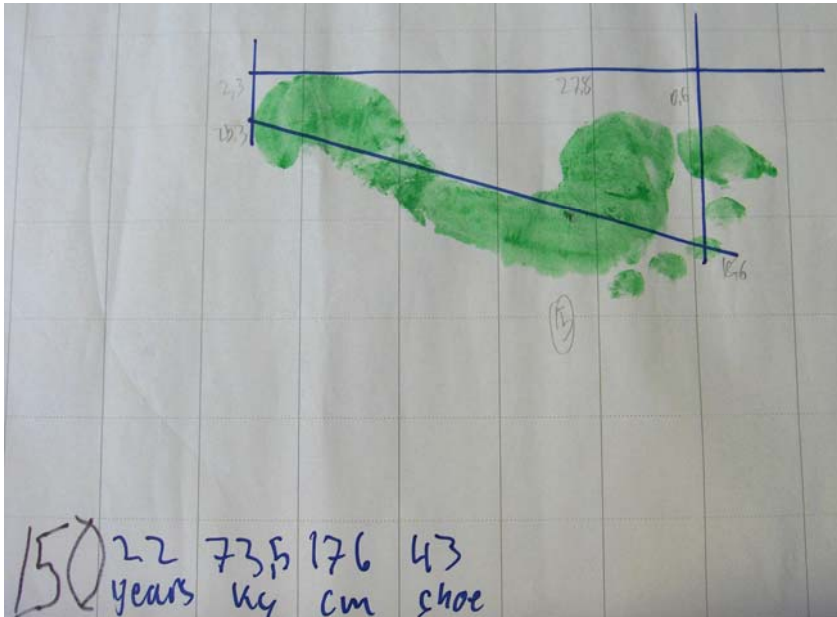
Vid mätningen placerades gångprovet så att gångriktningen var åt höger. Då det skulle mätas en del vinklar och avstånd på varje fot och jämföras med det tidigare fotsteget behövdes ett antal mätpunkter ritas ut.



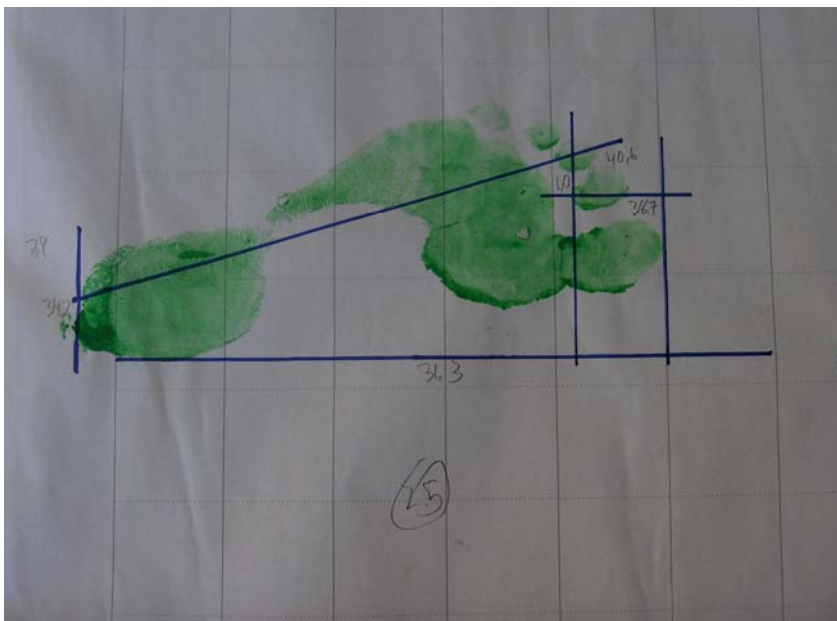
**Figur 11** Två fotsteg med de olika variablerna och deras beteckningar

På varje fotavtryck behövdes 6 avstånd och en längd förutom det första fotavtrycket där det enbart behövs mätas 5 avstånd för att ta ut mätdatan. Då mätningarna utfördes på rutat papper där rutorna var 5x5 cm så behövdes aldrig längre sträckor än 5 cm mätas vilket minskade risken för fel.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



**Figur 12** Bild på första fotavtrycket med siffror.



**Figur 13** Bild på ett annat fotavtryck med siffror.

De mätvärden som visas i figur 11 kunde sedan beräknas med hjälp av dessa avstånd och längder. Sedan lades mätvärdena in i ett Excel-dokument och informationen om försökspersonen i ett annat dokument där alla värden kopplades till försöksnumret.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Vid jämförelse av position i y-led (ortogonalt mot gångriktningen) så utgicks det alltid från nedre kant på pappret och upp till positionen som skulle mätas. Avståndet beräknades genom att ta den vänstra fotens värde minus den högra fotens värde. Detta gav ibland ett negativt värde vilket betydde att personen satt ena foten innanför den andra.



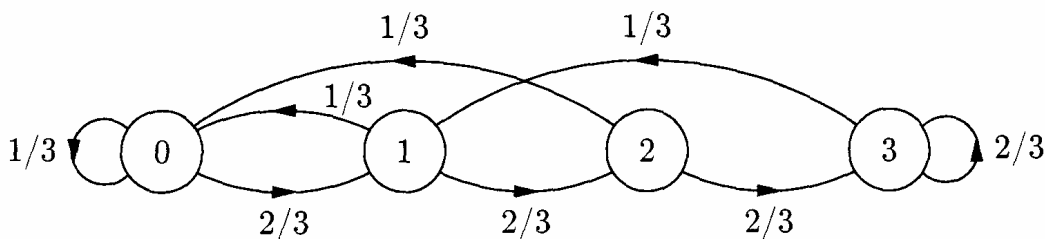
## 4 Markovkedjor

### 4.1 Teori

Då det har experimentellt undersökts hur ett antal mätvärden förändrats från steg till steg så behövs det sammanställas. Detta gjordes genom att markovkedjor byggdes. Markovkedjor är en sannoliksfordelning där det nästkommande värdet beror på nuvarande värdet på variabeln. Så för var och en av variablerna som beskriver hur foten sattes ner fick det skapas en motsvarande markovkedja. En av de viktigare delarna i en markovkedja är övergångsmatrisen där alla värden som variabeln kan ha har en rad och en kolonn. Hur markovkedjan ser ut och fungerar förklaras lättast med ett exempel från [2]:

*Ex:* Ett bilförsäkringsbolag säljer försäkringar där det finns fyra olika bonusklasser som kunder kan ha 0, 1, 2 och 3 där 0 har den största premien och 3 den lägsta. En ny kund placeras i klass 0. Varje skadefritt år flyttas kunden upp en bonusklass tills den är i den högsta klassen. För varje gång kunden utnyttjar försäkringen flyttas den ner två klasser, dock lägst till bonusklass 0.

Anta kunden Carl-Gustaf som ett givet år råka ut för en olycka som kräver att han utnyttjar försäkringen med sannolikheten  $1/3$ . Detta betyder att sannolikheten att han flyttas upp en bonusklass är  $2/3$ . Detta kan beskrivas med figur 14.



Figur 14 Modellgraf för Carl-Gustaf's bonusklass

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Detta ger övergångsmatrisen  $P$ :

$$P = \begin{pmatrix} 1/3 & 2/3 & 0 & 0 \\ 1/3 & 0 & 2/3 & 0 \\ 1/3 & 0 & 0 & 2/3 \\ 0 & 1/3 & 0 & 2/3 \end{pmatrix}.$$

Övergångsmatrisen ska sen multipliceras med en fördelningsvektor  $p(n)$  där  $n$  är hur många gånger fördelningsvektorn multiplicerats med övergångsmatrisen.

Så om  $p(0)=[1 \ 0 \ 0 \ 0]$  så blir:

$p(1)=[1/3 \ 2/3 \ 0 \ 0]$ ;  $p(2)=[0.3333 \ 0.2222 \ 0.4444 \ 0]$

$p(3)=[0.3333 \ 0.2222 \ 0.1481 \ 0.2963]$ .

Värdevektorn  $W$  är i detta fallet  $W=[0 \ 1 \ 2 \ 3]$

Detta betyder att chansen att Carl-Gustaf ska vara i klass 3 efter tre år bara är 29.6 % medan sannolikheten att han ska vara i klass 0 är 33.3%.

## **4.2 Markovkedjor extraherade från gångmönsterstatistik**

På motsvarande sätt har markovkedjor byggts upp att beskriva hur sannolikt de kommande värdena på variabeln är. I detta avsnitt kommer endast Markovkedjorna för hela provgruppen att presenteras. De övriga gruppernas markovkedjor finns i appendix A.

Överföringsmatriserna kan tyvärr inte presenteras i sin helhet pga. deras storlek och komplexitet då de ofta är på mer än 20 olika värden som variablerna kan skifta värden mellan. För var och en av Markovkedjorna beräknas fördelningsvektorn för de två första stegen och presenteras med värdevektorn  $W$ .

För Matlabkod se appendix C

### 4.2.1 Markovkedjorna för d1

Överföringsmatrisen för d1 för hela provgruppen är på 28x28 värden.

$$P_{d1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0067 & \dots & 0.0133 & 0.0067 & 0.0067 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d1}$ .

$$p(0)_{d1} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d1}$  och  $p(0)_{d1}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{d1}$

$P_{d1}$  och  $p(1)_{d1}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{d1}$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{d1} =$	$\begin{bmatrix} \text{stegl} \\ -9 \text{ cm} \\ -5 \text{ cm} \\ -4 \text{ cm} \\ -3 \text{ cm} \\ -2 \text{ cm} \\ -1 \text{ cm} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{d1} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0200 \\ 0.0267 \\ 0.0333 \\ 0.0400 \\ 0.0933 \\ 0.0667 \\ 0.0800 \\ 0.1000 \\ 0.0733 \\ 0.0533 \\ 0.0733 \\ 0.0733 \\ 0.0733 \\ 0.0867 \\ 0.0467 \\ 0.0333 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0133 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{d1} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0029 \\ 0.0031 \\ 0.0047 \\ 0.0070 \\ 0.0173 \\ 0.0231 \\ 0.0230 \\ 0.0508 \\ 0.0609 \\ 0.0852 \\ 0.0879 \\ 0.1281 \\ 0.0669 \\ 0.0765 \\ 0.0734 \\ 0.0702 \\ 0.0521 \\ 0.0705 \\ 0.0185 \\ 0.0248 \\ 0.0208 \\ 0.0106 \\ 0.0117 \\ 0.0067 \\ 0.0033 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
------------	---	---------------	---	---------------	---



### 4.2.2 Markovkedjorna för d2

Överföringsmatrisen för d2 för hela provgruppen är på 17x17 värden.

$$P_{d2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.02 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.0067 & 0.0067 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d2}$ .

$$p(0)_{d2} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d2}$  och  $p(0)_{d2}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d2}$

$P_{d2}$  och  $p(1)_{d2}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d2}$

$$W_{d2} = \begin{bmatrix} \text{stegl} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0200 \\ 0.0467 \\ 0.0867 \\ 0.1333 \\ 0.2733 \\ 0.1600 \\ 0.1333 \\ 0.0600 \\ 0.0267 \\ 0.0267 \\ 0.0133 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0025 \\ 0.0273 \\ 0.0507 \\ 0.0727 \\ 0.1190 \\ 0.1818 \\ 0.2188 \\ 0.1674 \\ 0.0653 \\ 0.0525 \\ 0.0178 \\ 0.0126 \\ 0.0027 \\ 0.0057 \\ 0.0033 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

### 4.2.3 Markovkedjorna för d3

Överföringsmatrisen för d3 för hela provgruppen är på 34x34.

$$P_{d3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0067 & \bullet\bullet\bullet & 0.0067 & 0.0067 & 0.0067 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d3}$ .

$$p(0)_{d3} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d3}$  och  $p(0)_{d3}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d3}$

$P_{d3}$  och  $p(1)_{d3}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d3}$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{d3} =$	$\begin{matrix} \text{stegl} \\ 0.8 \text{ cm} \\ 1.1 \text{ cm} \\ 1.2 \text{ cm} \\ 1.3 \text{ cm} \\ 1.4 \text{ cm} \\ 1.5 \text{ cm} \\ 1.6 \text{ cm} \\ 1.7 \text{ cm} \\ 1.8 \text{ cm} \\ 1.9 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ 2.1 \text{ cm} \\ 2.2 \text{ cm} \\ 2.3 \text{ cm} \\ 2.4 \text{ cm} \\ 2.5 \text{ cm} \\ 2.6 \text{ cm} \\ 2.7 \text{ cm} \\ 2.8 \text{ cm} \\ 2.9 \text{ cm} \\ 3.0 \text{ cm} \\ 3.1 \text{ cm} \\ 3.2 \text{ cm} \\ 3.3 \text{ cm} \\ 3.4 \text{ cm} \\ 3.5 \text{ cm} \\ 3.6 \text{ cm} \\ 3.7 \text{ cm} \\ 3.8 \text{ cm} \\ 4.5 \text{ cm} \\ 5.0 \text{ cm} \\ 5.2 \text{ cm} \\ 8.4 \text{ cm} \end{matrix}$	$p^{(1)}_{d3} =$	$\begin{matrix} 00 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0200 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0.0333 \\ 0.0133 \\ 0.0800 \\ 0.0867 \\ 0.0733 \\ 0.0800 \\ 0.0800 \\ 0.0867 \\ 0.0467 \\ 0.0600 \\ 0.0600 \\ 0.0400 \\ 0.0533 \\ 0.0067 \\ 0.0400 \\ 0.0200 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \end{matrix}$	$p^{(2)}_{d3} =$	$\begin{matrix} 0 \\ 0.0058 \\ 0.0116 \\ 0.0076 \\ 0.0142 \\ 0.0154 \\ 0.0279 \\ 0.0181 \\ 0.0275 \\ 0.0361 \\ 0.0411 \\ 0.0678 \\ 0.0623 \\ 0.1055 \\ 0.0931 \\ 0.0846 \\ 0.0781 \\ 0.0862 \\ 0.0412 \\ 0.0416 \\ 0.0290 \\ 0.0245 \\ 0.0295 \\ 0.0045 \\ 0.0129 \\ 0.0125 \\ 0.0067 \\ 0.0063 \\ 0 \\ 0.0050 \\ 0.0033 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$
------------	--	------------------	---	------------------	---

#### 4.2.4 Markovkedjorna för I1

Överföringsmatrisen för I1 för hela provgruppen är på 12x12 värden.

$$P_{I1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.00133 & \dots & 0.1000 & 0.0133 & 0.0133 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.4857 & 0.2000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.7143 & 0.1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1.0000 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{I1}$ .

$$p(0)_{I1} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{I1}$  och  $p(0)_{I1}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{I1}$

$P_{I1}$  och  $p(1)_{I1}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{I1}$

$$W_{I1} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 18 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \\ 31 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{I1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0.0667 \\ 0.1533 \\ 0.2267 \\ 0.2600 \\ 0.1400 \\ 0.1000 \\ 0.0133 \\ 0.0067 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{I1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0033 \\ 0 \\ 0.0186 \\ 0.0612 \\ 0.1371 \\ 0.2290 \\ 0.2258 \\ 0.2009 \\ 0.0972 \\ 0.0269 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

### 4.2.5 Markovkedjorna för L1

Överföringsmatrisen för L1 för hela provgruppen är på 44x44 värden.

$$P_{L1} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0067 & 0.0067 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet \bullet \bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L1}$ .

$$p(0)_{L1} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet \bullet \bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L1}$  och  $p(0)_{L1}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L1}$

$P_{L1}$  och  $p(1)_{L1}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L1}$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{L1} =$	$p^{(1)}_{L1} =$	$p^{(2)}_{L1} =$
stegl 35 cm 37 cm 42 cm 44 cm 45 cm • • • 58 cm 59 cm 60 cm 61 cm 62 cm 63 cm 64 cm 65 cm 66 cm 67 cm 68 cm • • • 77 cm 78 cm 79 cm 80 cm 81 cm 82 cm 83 cm	0 0.0067 0.0067 0.0067 0.0067 0 • • • 0.0400 0.0667 0.0467 0.0533 0.0733 0.0733 0.0933 0.0667 0.0533 0.0333 0.0333 • • • 0.0133 0.0067 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0.0044 • • • 0.0120 0.0339 0.0308 0.0414 0.0455 0.0631 0.0691 0.0508 0.0630 0.0493 0.0630 • • • 0.0121 0.0037 0.0033 0 0.0015 0.0047 0.0015

### 4.2.6 Markovkedjorna för L2

Överföringsmatrisen för L2 för hela provgruppen är på 43x43.

$$P_{L_2} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0067 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L_2}$ .

$$p(0)_{L_2} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L_2}$  och  $p(0)_{L_2}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L_2}$

$P_{L_2}$  och  $p(1)_{L_2}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L_2}$

Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{L_2} =$	$\begin{bmatrix} \text{stegl} \\ 34 \text{ cm} \\ 41 \text{ cm} \\ 42 \text{ cm} \\ 44 \text{ cm} \\ 45 \text{ cm} \\ 46 \text{ cm} \\ 47 \text{ cm} \\ 48 \text{ cm} \\ 49 \text{ cm} \\ 50 \text{ cm} \\ 51 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \\ 54 \text{ cm} \\ 55 \text{ cm} \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 70 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 75 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 78 \text{ cm} \\ 79 \text{ cm} \\ 80 \text{ cm} \\ 82 \text{ cm} \\ 85 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{L_2} =$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0267 \\ 0.0133 \\ 0 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ 0.0800 \\ 0.0600 \\ 0.0600 \\ 0.0267 \\ 0.0067 \\ 0.0400 \\ 0.0267 \\ 0.0267 \\ 0.0533 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{L_2} =$ $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0032 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0019 \\ 0.0149 \\ 0.0019 \\ 0 \\ 0.0056 \\ 0.0044 \\ 0.0178 \\ 0.0253 \\ 0.0095 \\ 0.0244 \\ 0.0148 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ 0.0495 \\ 0.0597 \\ 0.0597 \\ 0.0548 \\ 0.0406 \\ 0.0430 \\ 0.0555 \\ 0.0453 \\ 0.0256 \\ 0.0457 \\ 0.0061 \\ 0.0462 \\ 0.0080 \\ 0.0075 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0059 \\ 0.0005 \end{bmatrix}^T$
-------------	--	--	--



### 4.2.7 Markovkedjorna för D1

Överföringsmatrisen för D1 för hela provgruppen är på 26x26.

$$P_{D1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0067 & \dots & 0 & 0.0133 & 0.0067 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1.000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D1}$ .

$$p(0)_{D1} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D1}$  och  $p(0)_{D1}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D1}$

$P_{D1}$  och  $p(1)_{D1}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D1}$

Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D1} =$	$\begin{bmatrix} \text{stegl} \\ -3 \text{ cm} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{D1} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0067 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0.0200 \\ 0.0533 \\ 0.0733 \\ 0.0533 \\ 0.0933 \\ 0.0933 \\ 0.0733 \\ 0.0600 \\ 0.0800 \\ 0.0667 \\ 0.0467 \\ 0.0800 \\ 0.0600 \\ 0.0333 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0.0200 \\ 0 \\ 0.0133 \\ 0.0067 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{D1} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0033 \\ 0.0027 \\ 0.0061 \\ 0.0105 \\ 0.0164 \\ 0.0198 \\ 0.0464 \\ 0.0689 \\ 0.0741 \\ 0.0597 \\ 0.1179 \\ 0.0903 \\ 0.0707 \\ 0.0929 \\ 0.0591 \\ 0.0681 \\ 0.0700 \\ 0.0313 \\ 0.0354 \\ 0.0162 \\ 0.0146 \\ 0.0177 \\ 0.0044 \\ 0.0033 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
------------	---	---------------	---	---------------	--

### 4.2.8 Markovkedjorna för D2

Överföringsmatrisen för D2 för hela provgruppen är på 35x35 värden.

$$P_{D_2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.0067 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D_2}$ .

$$p(0)_{D_2} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D_2}$  och  $p(0)_{D_2}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D_2}$

$P_{D_2}$  och  $p(1)_{D_2}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D_2}$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D_2} =$	$p(1)_{D_2} =$	$p(2)_{D_2} =$
stegl	0	0
4 cm	0	0.0011
7 cm	0	0.0093
8 cm	0.0067	0.0033
9 cm	0.0267	0.0051
10 cm	0.0133	0.0131
11 cm	0.0400	0.0103
12 cm	0.0200	0.0284
13 cm	0.0133	0.0380
14 cm	0.0467	0.0373
15 cm	0.0667	0.0473
16 cm	0.0333	0.0572
17 cm	0.0667	0.0905
18 cm	0.0733	0.0666
19 cm	0.1000	0.0730
20 cm	0.0533	0.0599
21 cm	0.0667	0.0780
22 cm	0.0600	0.0570
23 cm	0.0733	0.0581
24 cm	0.0467	0.0722
25 cm	0.0600	0.0454
26 cm	0.0333	0.0281
27 cm	0.0400	0.0359
28 cm	0.0133	0.0228
29 cm	0	0.0170
30 cm	0.0067	0.0137
31 cm	0	0.0120
32 cm	0.0133	0.0093
33 cm	0	0.0017
34 cm	0.0067	0
35 cm	0.0133	0
38 cm	0	0.0017
42 cm	0.0067	0
43 cm	0	0.0033
45 cm	0	0.0033

## 5 FEM-simulering

Finita Element Metoden är en numerisk metod som används för att lösa partiella differentialekvationer. FEM går ut på att man delar upp ett kontinuerligt område i små finita delområden och därmed ersätta den partiella differentialekvationen med en differentialekvation vilket är lättare att lösa. I varje delområde som kallas element finns det en formfunktion som beskriver hur värdena i de olika noderna ska beräknas.

I strukturdynamiska problem som kan vara väldigt komplexa är detta ett användbart verktyg för att hitta approximativa lösningar.

### 5.1 Bjälklag

Till detta projekt skulle en simulering av en person som går på ett lättviktsbjälklag utföras. Därför var vissa parametrar viktiga att ta fram och approximera för att kunna göra simuleringen. Bjälklaget som presenterades i inledningen ifråga valdes att bestå av 195x45 mm träbalkar med centrumavstånd 600 mm med en spånskiva på 22 mm ovanpå. Gipsskivorna och mineralullen bortsågs från i simuleringen. Bjälklaget antogs vara fritt upplagt längs ränderna dvs. det kan inte förflyttas i z-led med rotera fritt. Dämpningen i bjälklaget och kroppen på den simulerade personen bortsågs.

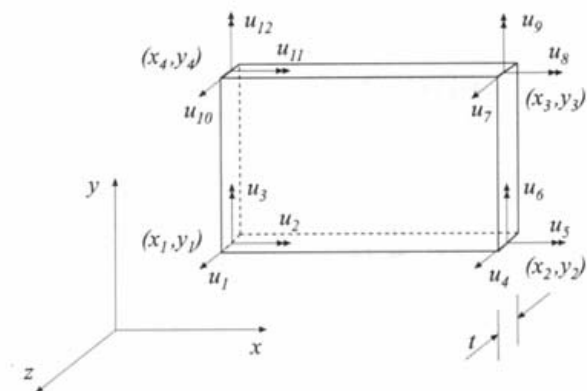
**Tabell 1 Parametrar på golvet**

X-led 3 m
Y-led 2 m
t=217mm
$E_{\text{trä}} 12 \times 10^9 \text{ Pa}$
$E_{\text{spånskiva}} 2 \times 10^9 \text{ Pa}$
$\rho_{\text{trä}} 450 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{\text{spånskiva}} 600 \text{ kg/m}^3$
$\nu 0.3$

### 5.2 Elementen

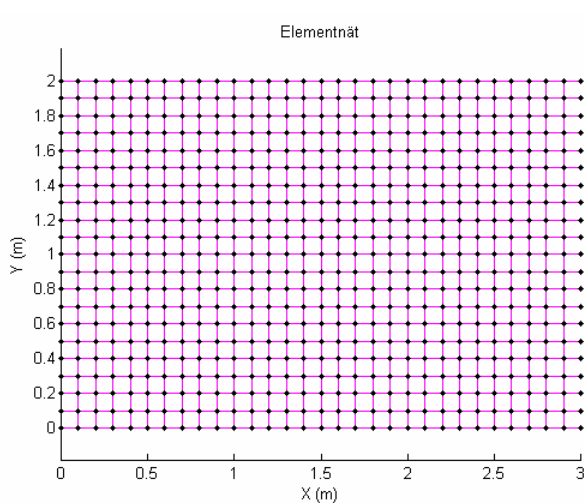
Elementen som valdes att användas i simuleringen var plattelement med fyra noder som vardera har en förskjutningsfrihetsgrad i z-led och två rotationsfrihetsgrader vardera en i x- och y-led (se figur 15).

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



**Figur 15** Plattelementens olika frihetsgrader

Detta gör att excitering av strukturen endast kan ske i z-led vilket betyder att det är framförallt härens excitering som kommer att vara intressant. Detta då som nämndes tidigare den främre delen av foten framförallt ger excitering i x- och y-led och detta kräver skalelement. Elementstorleken valdes till 0.1x0.1 meter (se figur 16).



**Figur 16** Elementnätet

### 5.3 Lasterna

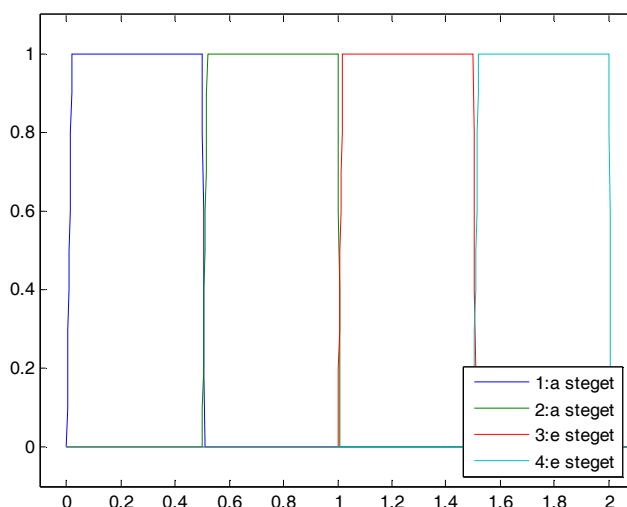
**Tabell 2** Parametrar på stegen

Kontakttid 0.5 sekunder
$dt_{\text{isättning}}$ 0.02 sekunder
$dt_{\text{upplvft}}$ 0.01 sekunder
load 785 N

**Tabell 3 Stegpositioner**

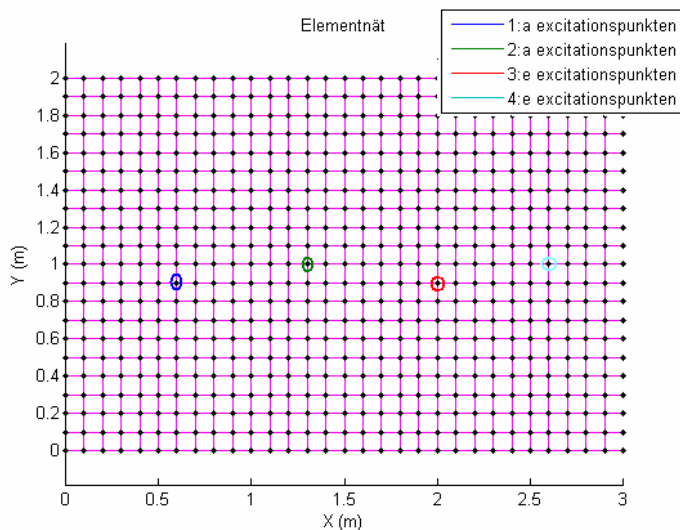
Stegnummer	X (m)	Y (m)
1	0.64	0.93
2	1.30	0.99
3	1.97	0.93
4	2.63	0.99

Positionerna som personlasten skulle placeras valdes med hjälp av Markovkedjorna för längdgruppen 181-185 cm där det beräknades genomsnittliga första till fjärdesteg. Just denna längdgrupp valdes för att det finns en väldigt samlad viktfördelning samt förhållandevis många försökspersoner i denna längdintervall (se Figur 21). Dessa avrundades till närmsta decimeter vid simuleringen för att passa in i elementnätet. Dessa användes sedan för att beräkna vilka frihetsgrader som skulle exciteras vid vilken tidpunkt. Lasten valdes till 80 kg då som ses i Figur 20 många män i denna längdgrupp ligger runt den vikten. Belastningen över tiden och rummet kan utläsas ur figur 17 och 18 samt tabell 2 och 3.



**Figur 17 De olika stegen över tiden**

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



Figur 18 De använda exitationspunkterna vid simulering

### 5.4 Beräkningar

Det FEMsimuleringsprogram som använts för att simulera golvet rörelser är CALFEM. CALFEM är uppbyggt av ett stort antal funktioner till MATLAB som sedan används i vanliga m-filer.

Ett av de problem som en sådan här ortotrop konstruktion ger är att elementen får olika styvhet i x- respektive y-led vilket leder till att materialmatrisen D behöver beräknas. D matrisen kan tas fram med C-matrisen som beskrivs nedan.

$$D^{-1} = C = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & 0 \\ -\frac{\nu_{yx}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix}$$

$$\text{Där } G_{xy} = \frac{E_x + E_y}{2.6} \cdot \frac{1}{2}.$$

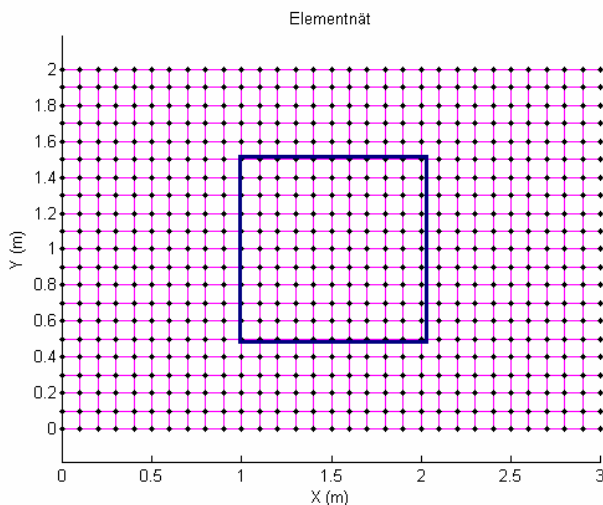
Då balkarna antogs ligga i x-led och E-modulen för trä är mycket större än E-modulen för spånskiva sattes  $E_x$  till  $E_{\text{trä}}$ . Då balkarna inte ger något böjmotstånd i y-led sattes  $E_y$  till  $E_{\text{spånskiva}}$ .

I den dynamiska simuleringen var det ett antal komponenter som beräknades:



### Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

Hastigheten och förskjutningen för de fyra excitationpunkterna samt den normerade genomsnittliga hastigheten för mittdelen av golvet  $\tilde{v}$  (se Figur 19).



**Figur 19** Det område som den genomsnittliga hastigheten beräknas på.

$$\text{Där } \tilde{v} = \frac{\sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_{n-2}^2 + v_{n-1}^2 + v_n^2}}{n}$$

Anledningen till att  $\tilde{v}$  ska beräknas är hastigheten vid enskilda frihetsgrader kan resultera i att valet av frihetsgrad hamnar mitt på en nod eller vid en stationär punkt som inte vibrerar överhuvudtaget. För CALFEM-kod se appendix B.

Utifrån hastighetsvektorn som beräknas i den dynamiska simuleringen kan sedan en Power Spectrum Density (PSD) beräkning utföras. Denna används sedan till att ta fram vibrationsnivån på golvet som kommer att ge hur energin i vibrationerna är fördelad i frekvensspektrat över de olika terserna.

Vibrationsnivån beräknas med formeln:

$$L_v = 10 \log_{10} \frac{\tilde{v}^2}{v_{ref}^2}$$

där  $v_{ref}^2 = 5 \cdot 10^{-8}$  m/s som är referenshastigheten.

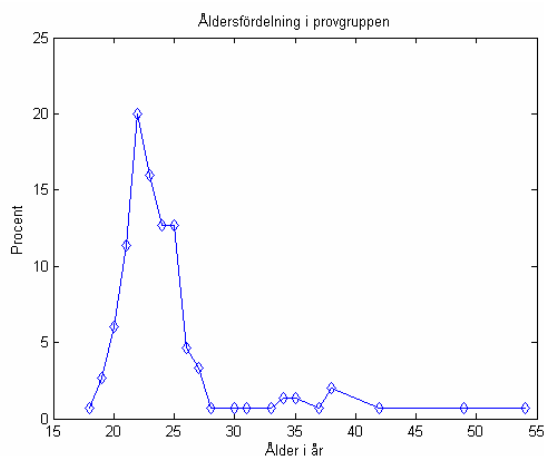
I denna del minskas tidsstegen till 0,002 sekunder.



## 6 Resultat

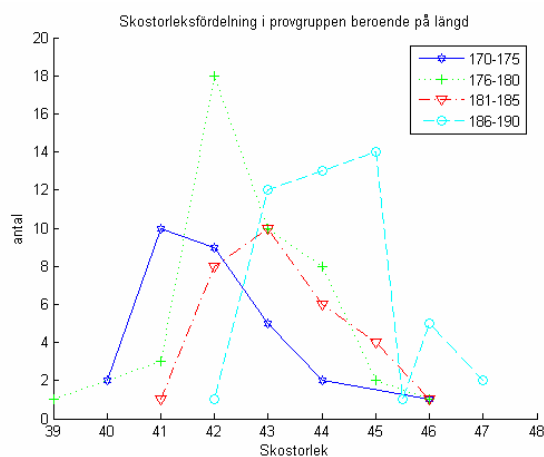
Arbetet har gett ett antal olika resultat beroende på att projektet består av ett antal olika delar. Markovkedjorna som togs upp tidigare är ett resultat av behandling av den statistiska data som presenteras i 6.2 men då de är en så viktig del av arbetet gicks de igenom i ett eget kapitel.

### 6.1 Uppbyggnad av försöksgruppen



I figur 20 syns en stor topp kring 20-25 år, detta beror på att en stor del av försökspersonerna var studenter.

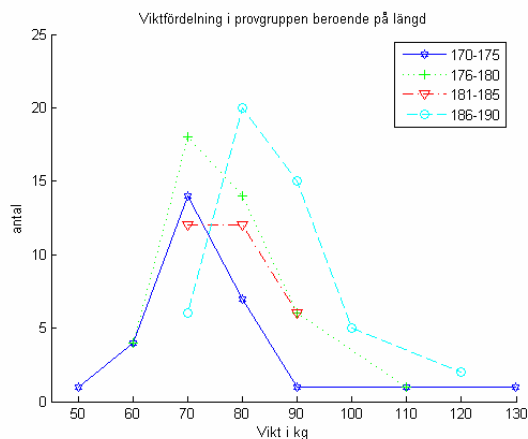
**Figur 20** Åldersfördelning på försökspersonerna.



Från graferna i figur 21 syns att det finns en tendens till större skostorlekar i den längsta gruppen än i den kortaste gruppen. Denna fördelning är framförallt intressant om beräkningsmodellen har ett tätare elementnät än som valts till denna rapport.

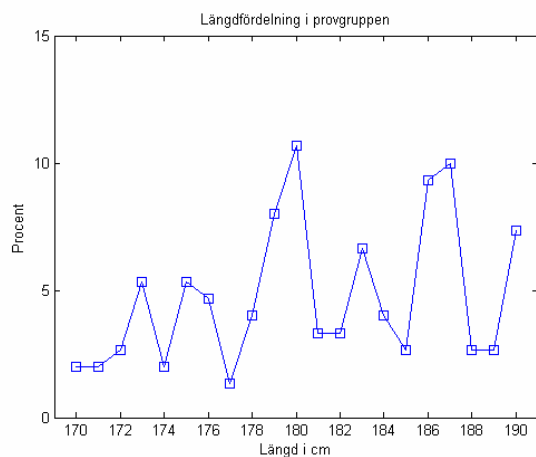
**Figur 21** Skostorlekarna som försökspersonerna hade på sina skor dagen då de utförde försöket.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



Figur 22 visar vikten hos försökspersonerna avrundat till hela tiotal för att få en bild av hur fördelningen är. Speciellt intressant för simuleringen är som nämnts tidigare 181-185 cm's gruppen då den är väldigt koncentrerad i sin viktfördelning.

**Figur 22 Vikten hos försökspersonerna utan skor men med normal inomhusklädsel**



Figur 23 visar att det är en större andel av provgruppen som är 180 eller längre än som är under 180. Detta gör att mätvärdena och Markovkedjorna på gångmönstret får större noggrannhet för de två längre grupperna än för de två kortare.

**Figur 23 Längdfördelningen hos försökspersonerna utan skor vid försökstillfället**

## 6.2 Fördelningen av de olika variablerna

De olika variablerna från figur 24 kommer här presenteras med vardera tre figurer. En med procentfördelningen över olika värden, en fördelningsfunktion över hela provgruppen och sedan en figur där det ses om det är några skillnader på de olika längdgruppernas fördelningsfunktioner. Längder definieras som sträckor i gångriktningen och avstånd som sträckor ortogonalt mot gångriktningen.

De olika variablerna som presenteras är:

$l_1$ : längd på fotavtryck i gångriktningen

$L_1$ : längden mellan bakre delen av hälarna på två fotavtryck

$L_2$ : längden mellan mittersta tårna på två fotavtryck

$d_1$ : avstånd mellan inre delarna av hälarna på två fotavtryck

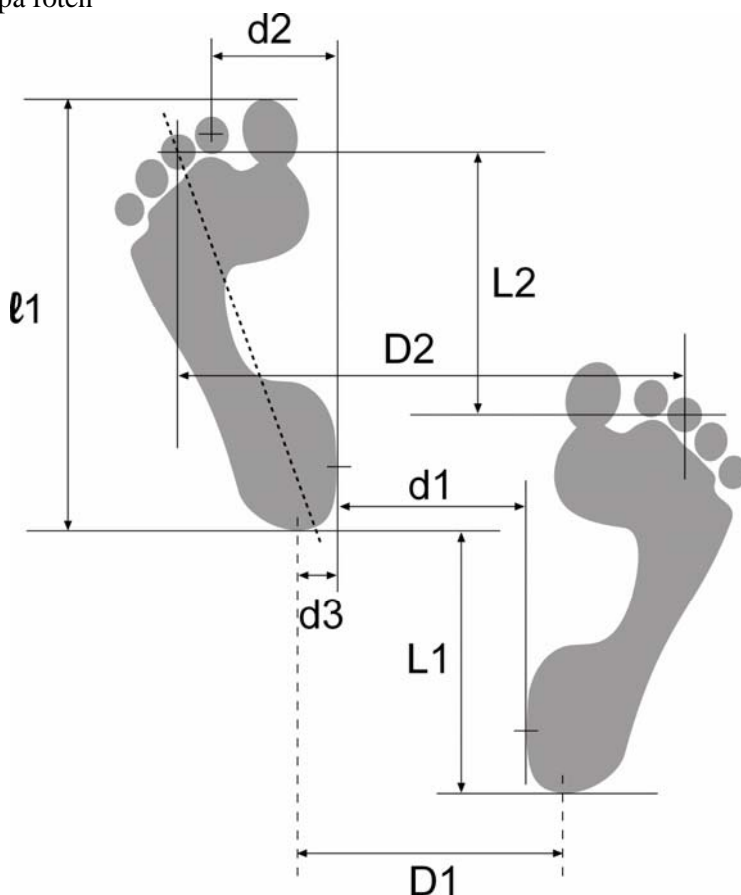
$d_2$ : avstånd mellan andra tån och inre delen av hälen på ett fotavtryck

$d_3$ : avstånd mellan bakersta delen på hälen och inre delen av hälen på ett fotavtryck

$D_1$ : avstånd mellan bakersta delarna på hälarna på två fotavtryck

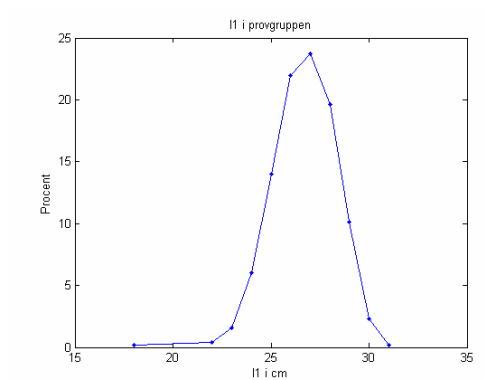
$D_2$ : avstånd mellan tredje tårna på två fotavtryck

$\theta$ : vinkeln på foten

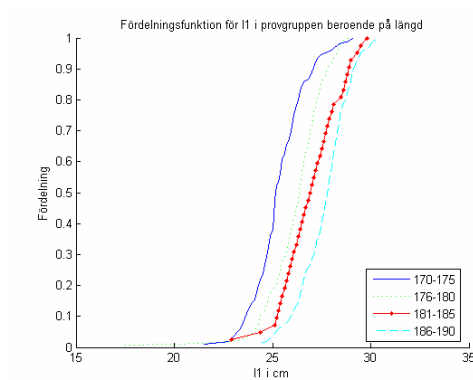


Figur 24 Två fotsteg med de olika variablerna och deras beteckningar

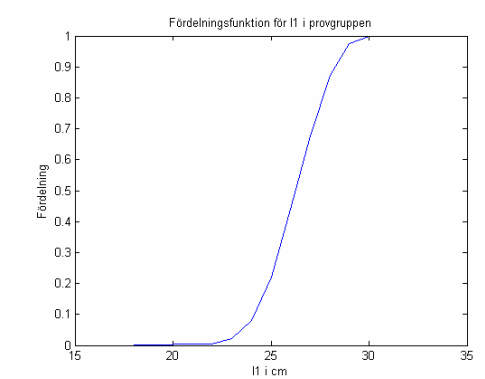
### 6.2.1 Variabeln I1: längd på fotavtryck i gångriktningen



**Figur 25** I1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



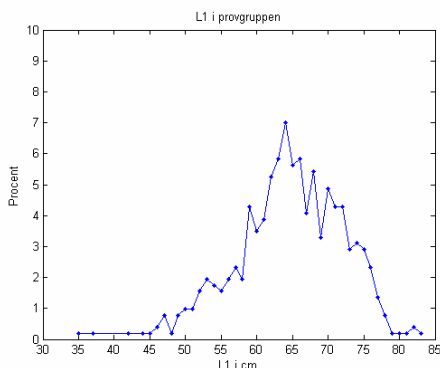
**Figur 27** Fördelningsfunktioner för I1 för de respektive olika längdgrupperna



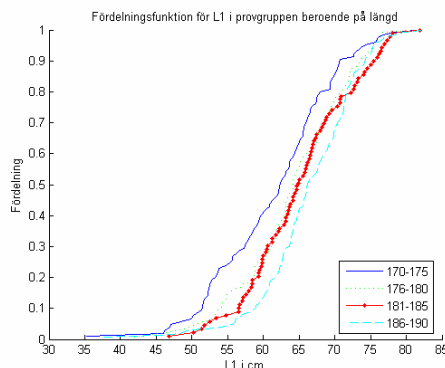
**Figur 26** Fördelningsfunktionen för I1 för alla försökspersoner

Utifrån figur 25 och 26 kan man utläsa att I1 är normalfördelad vid större grupper vilket hela försöksgruppen kan ses som. Figur 27 har inte samma tydliga S-form som grafen i figur 23 men det finns dock ändå en tendens att de respektive funktionerna har en S-form. Det går även att se att grupperna med större fötter har även ett större I1 vilket inte är så underligt.

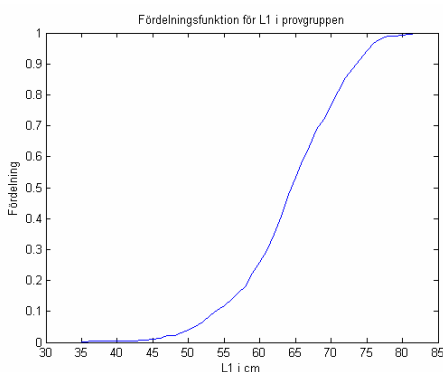
## 6.2.2 Variabeln L1: längden mellan bakre delen av hämlarna på två fotavtryck



Figur 28 L1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



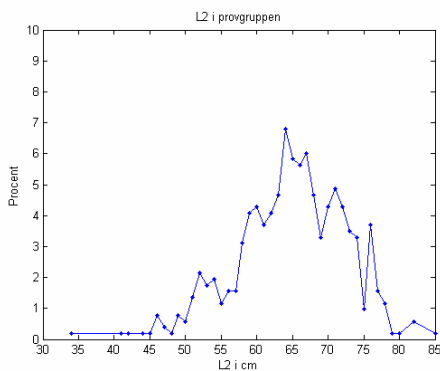
Figur 30 Fördelningsfunktioner för L1 för de respektive olika längdgrupperna



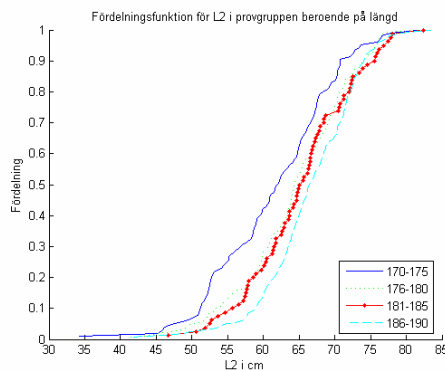
Figur 29 Fördelningsfunktionen för L1 för alla försökspersoner

Figur 28 och 29 visar även de på en tydlig normalfördelning. Figur 30 är intressant då det i de olika längdgrupperna inte är så stor skillnad på steglängden på den 3 meter långa teststräckan.

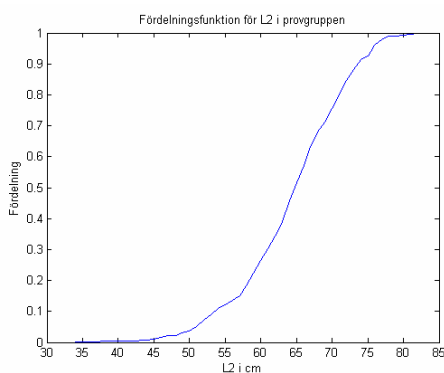
### 6.2.3 Variabeln L2: längden mellan mittersta tårna på två fotavtryck



**Figur 31** L2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



**Figur 33** Fördelningsfunktioner för L2 för de respektive olika längdgrupperna

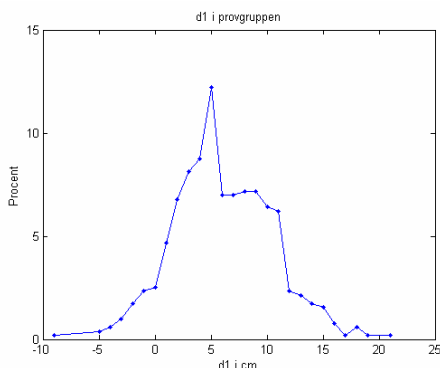


**Figur 32** Fördelningsfunktionen för L2 för alla försökspersoner

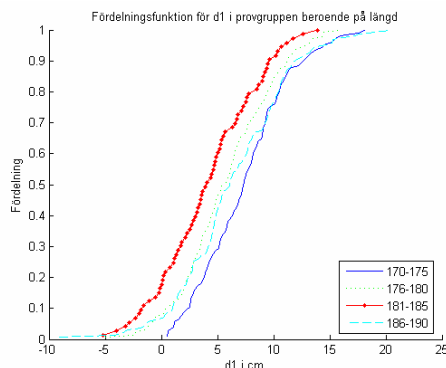
Figur 31 och 32 har som de tidigare en normalfördelning. Jämförs 31 med Figur 28 syns en skillnad mellan dem, denna är antagligen kopplad till vinkelskillnader på theta.



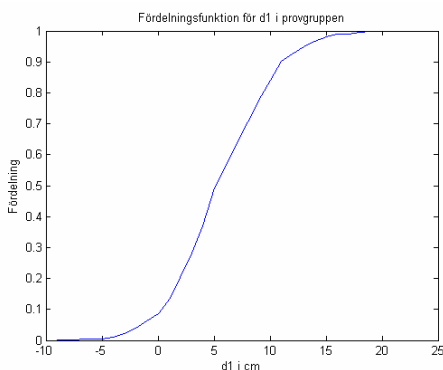
### 6.2.4 Variabeln d1: avstånd mellan inre delarna av hämlarna på två fotavtryck



Figur 34 d1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



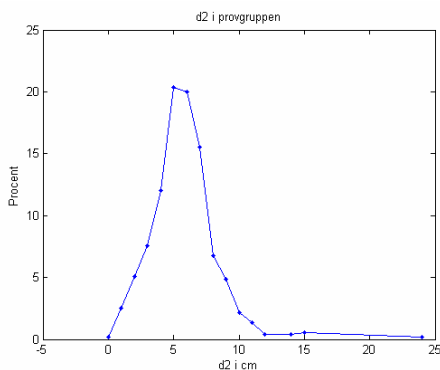
Figur 36 Fördelningsfunktioner för d1 för de respektive olika längdgrupperna



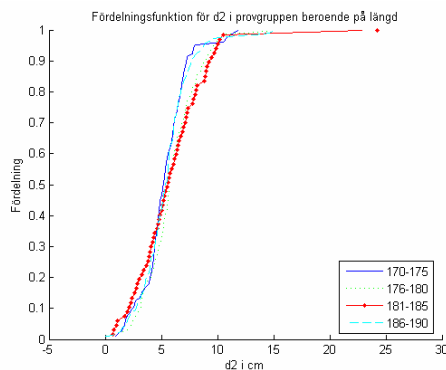
Figur 35 Fördelningsfunktionen för d1 för alla försökspersoner

Figur 34 och 35 är även dem normalfördelade. I figur 36 syns en intressant tendens att kortare personer har ett större avstånd när de går mellan insida hämlarna dock är denna skillnad väldigt liten.

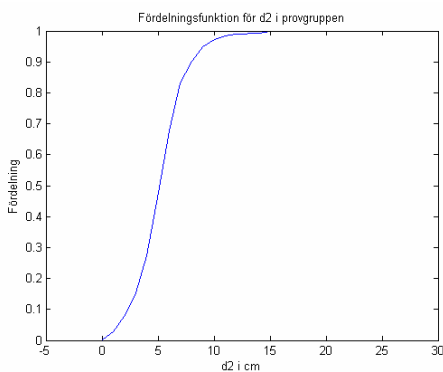
### 6.2.5 Variabeln d2: avstånd mellan andra tån och inre delen av hälen på ett fotavtryck



Figur 37 d2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



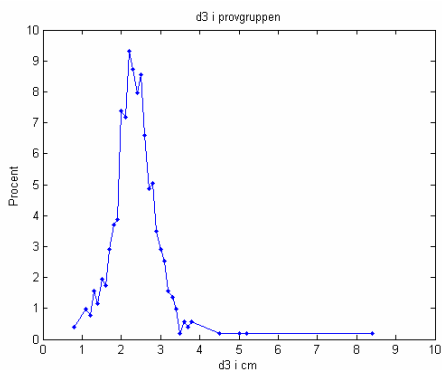
Figur 39 Fördelningsfunktioner för d2 för de respektive olika längdgrupperna



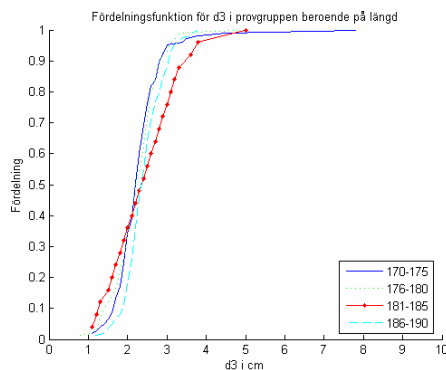
Figur 38 Fördelningsfunktionen för d2 för alla försökspersoner

I figur 37 och 38 kan man se att denna variabel inte varierar så mycket utan har väldigt många mätpunkter kring 5 och 6 cm. Figur 39 visar också att det nästan inte är någon skillnad mellan längdgrupperna.

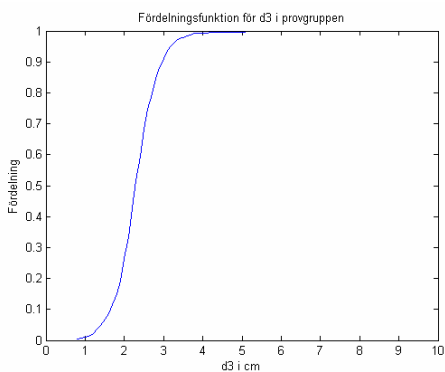
### 6.2.6 Variabeln d3: avstånd mellan bakersta delen på hälen och inre delen av hälen på ett fotavtryck



Figur 40 d3-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



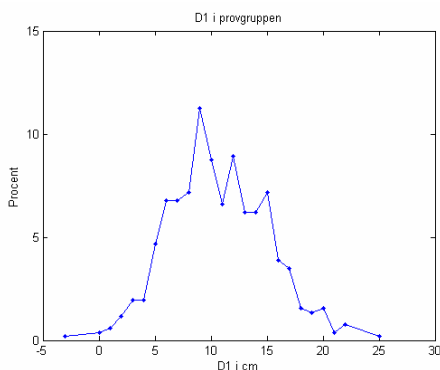
Figur 42 Fördelningsfunktioner för d3 för de respektive olika längdgrupperna



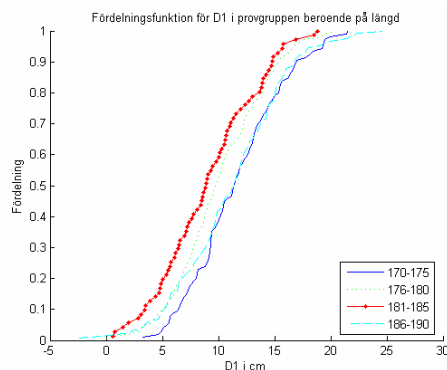
Figur 41 Fördelningsfunktionen för d3 för alla försökspersoner

Precis som för d2 ses i figur 40 och 41 en väldigt skarp koncentration av variabeln här ligger koncentrationen något över 2 cm. I figur 42 ses att det är nästintill ingen skillnad på dom olika längdgrupperna.

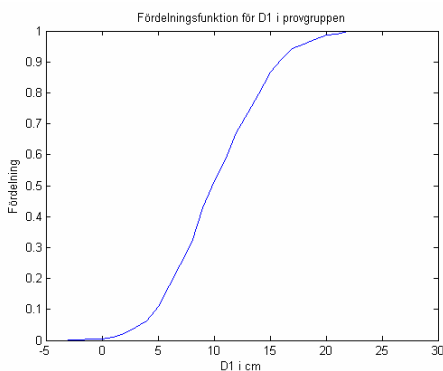
### 6.2.7 Variabeln D1: avstånd mellan bakersta delarna på hälarna på två fotavtryck



Figur 43 D1-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



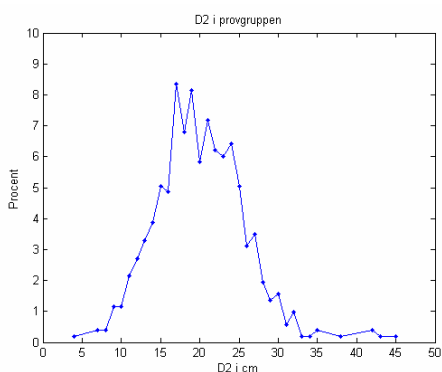
Figur 45 Fördelningsfunktioner för D1 för de respektive olika längdgrupperna



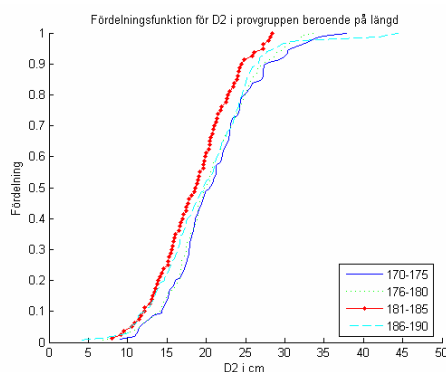
Figur 44 Fördelningsfunktionen för D1 för alla försökspersoner

Figur 43 och 44 visar även dem på normalfördelning men en något mer utspritt än tidigare avstånd. I figur 45 visar på att de olika längdgruppernas D1 inte är beroende på längd då gruppen 186-190 och 170-175 följs åt.

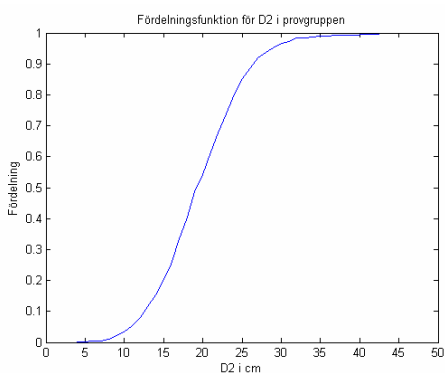
## 6.2.8 Variabeln D2: avstånd mellan tredje tårna på två fotavtryck



Figur 46 D2-variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



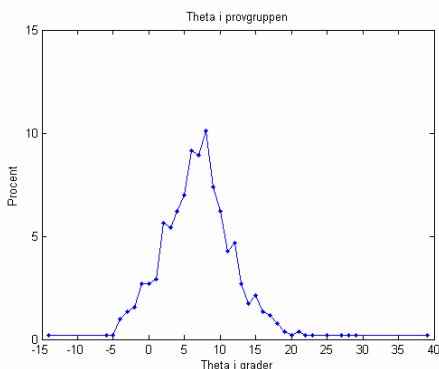
Figur 48 Fördelningsfunktioner för D2 för de respektive olika längdgrupperna



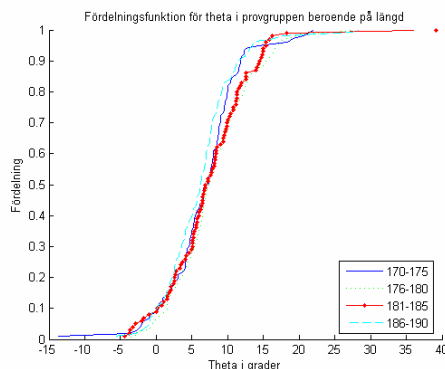
Figur 47 Fördelningsfunktionen för D2 för alla försökspersoner

Variabeln är här visar på samma tendenser som D1 dvs. den är även normalfördelad och oberoende av längd.

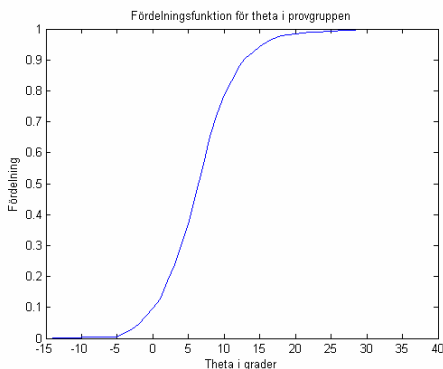
## 6.2.9 Variabeln $\theta$ : vinkeln på foten



**Figur 49**  $\theta$  -variabeln för alla steg i procent för hela försöksgruppen



**Figur 50** Fördelningsfunktioner för  $\theta$  för de respektive olika längdgrupperna



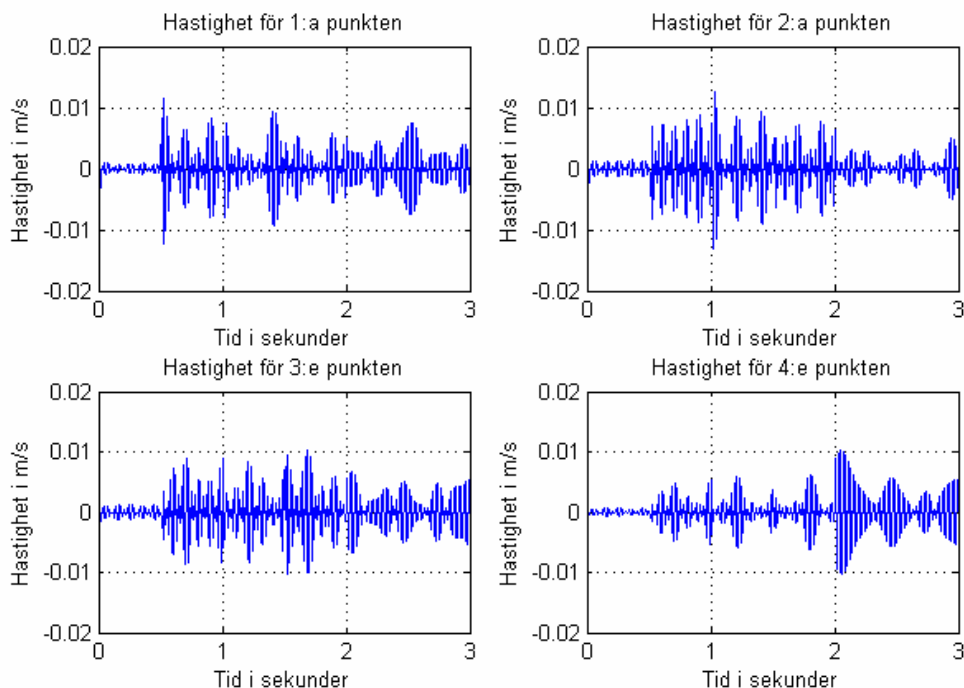
**Figur  $\theta$**  Fördelningsfunktionen för D2 för alla försökspersoner

Tendenserna hos theta är väldigt tydliga åt normalfördelningshållet och i figur 51 syns en väldigt tydlig avsaknad på koppling till längd.

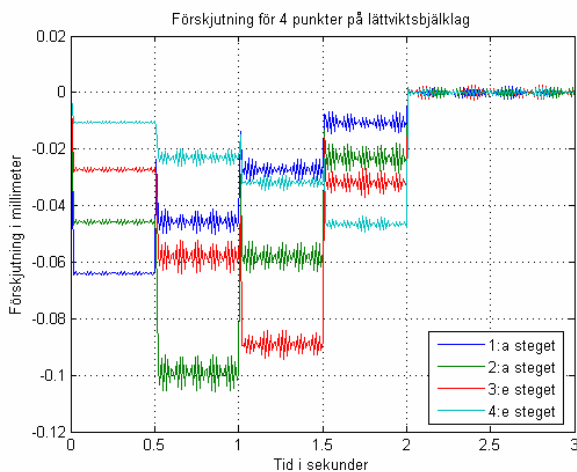
## 6.2.10 Sammanfattning av tendenser hos de olika variablerna

De olika längderna (I1, L1 och L2) visar en koppling till längd medan avstånden och vinkeln (d1, d2, d3, D1, D2 och Theta) visar en tendens till att inte vara lika kopplad till längd. Detta skulle kunna vara intressant vid simuleringar då man skulle kunna använda en större mängd av den data som finns insamlad och därmed ett bättre underlag.

### 6.3 FEM-simulering



Figur 51 Hastigheten över tiden för de fyra exciteringspunkterna

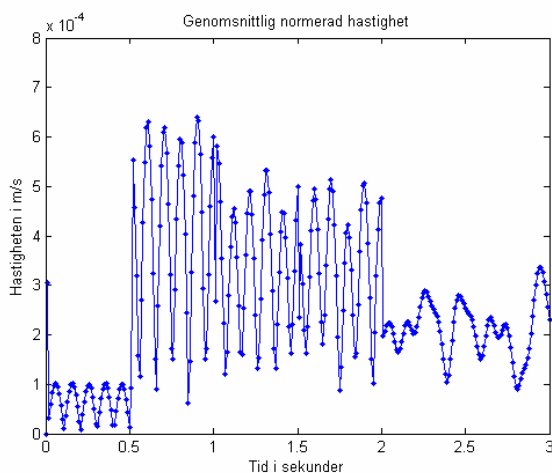


Figur 52 Förskjutningen för de fyra exciterade punkterna

Utifrån figur 52 och 53 går det att utläsa hur ljudet från stegen kommer att vara olika starka beroende på dels förskjutningarna och hastigheterna. Förskjutningsljuden uppkommer vid hälnedslaget, då kroppsvikten appliceras på bjälklaget, vilket kan ses i figur 53 medan från hastigheterna i figur 52, går det att se att det kommer vara det

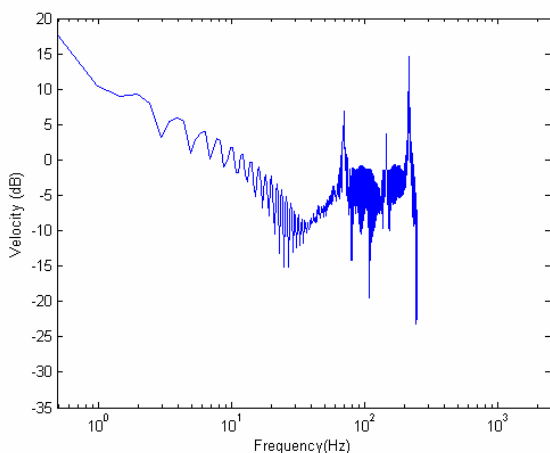
## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

lilla surrande ekot av fotstegen när foten lyfts och bjälklaget vibrerar med högre hastighet än när hälen slår i. Det steg som kommer att låta mest är det andra steget iom. att det har störst förskjutning från belastning och störst hastigheter när belastningen tas bort. Detta är kopplat till att det steget är närmast mittpunkten på bjälklaget.



**Figur 53** Den normerade genomsnittliga hastigheten för en kvadratmeter bjälklagsyta mitt på golvet.

Här i figur 54 syns det tydligt under dom första 0.5 sekunderna att den första eigenmoden satts i rörelse och i de efterföljande stegen sätts de högre ordningens vibrationsformer i rörelse.

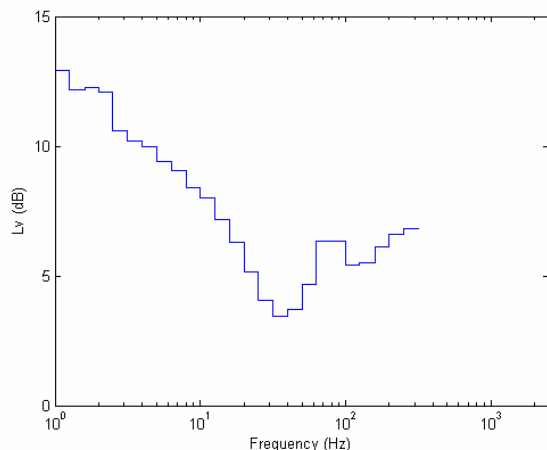


**Figur 54** Hastigheten för hela golvet uppdelat över frekvenser

I figur 55 syns att golvet vibrerar med högst hastighet i de lägre frekvenserna vilket betyder att det är dom som kommer ge de största förskjutningarna. Bland de högre frekvenserna går det att utläsa två toppar vid 70 och 216 Hz.



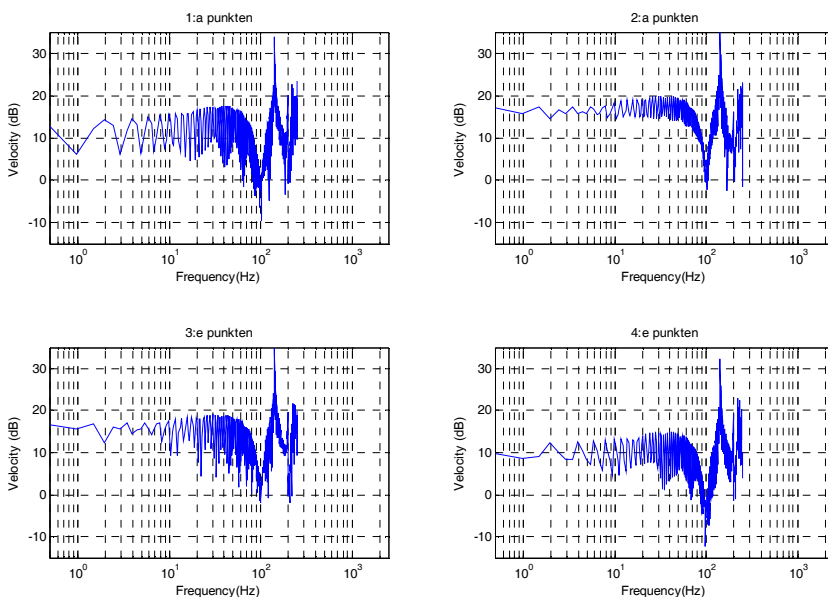
## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



**Figur 55** Vibrationsnivån över hela golvet

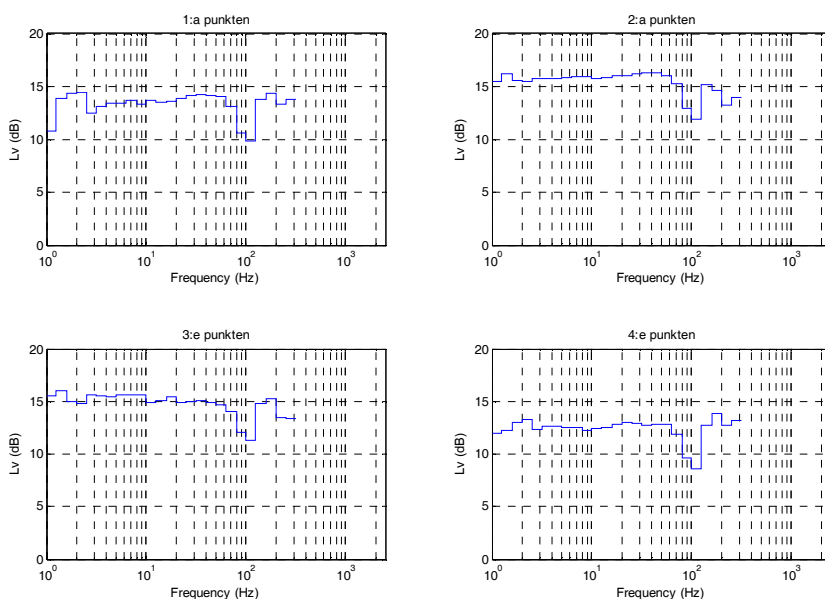
I figur 56 syns en stark koppling till figur 55 där den mesta av vibrationsenergin är koncentrerad i de lägre frekvenserna. I figur 56 går det att utläsa en top vid 63 och 80-terserna samt att vibrationsenergin ökar igen från 200 Hz-tersen till 315 Hz-tersen.

Detta kan kopplas till de toppar som syns i figur 55 då toppen vid 70 Hz och toppen vid 216 Hz täcker in mer än ett tersband med sina baser.



**Figur 56** Hastighetsfördelningen i de 4 punkter som exciteras med steg.

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik



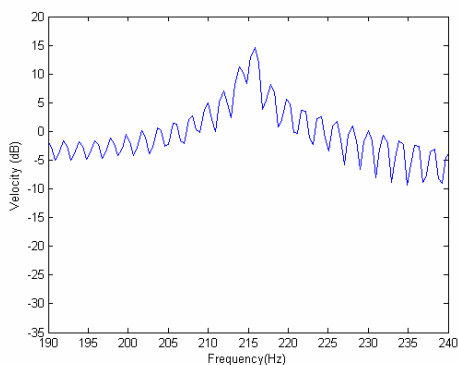
**Figur 57 Vibrationsnivå för de fyra exciteringspunkterna**

I figur 57 som visar de fyra punkterna som exciteras syns en klar skillnad mot i figur 55 som visar hela golvet hastighetsfördelning. I alla 4 syns en top kring 143 Hz vilket sammanfaller med en mindre top i figur 55. I figur 58 syns att alla stegen har jämnt energiinnehåll över frekvensbandet förutom vid 80 och 100 Hz-terserna vilka sammanfaller med minimumet som går att utläsa från figur 57 för alla punkterna. Alla exciteringspunkterna har i det hörbara området väldigt lika utseende vilket betyder att deras ljud är liknande. Om vibrationsnivåerna jämförs syns tydligt att de två punkterna i mitten av bjälklaget har en klart högre nivå än de två vid kanterna. Dessutom har alla punkterna klart högre nivåer på vibrationerna än vad som figur 56 visar för hela golvet vilket tyder på större ljudutstrålning.

## 6.4 Jämförelse mellan Eigenmodberäkning och FEM-simulering

Som komplettering till FEM simuleringen gjordes även en Eigenmodberäkning för att undersöka ifall någon av topparna i figur 55 kunde vara kopplad till resonans.

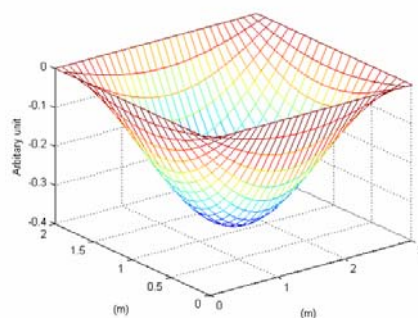
Eigenmodberäkningen utfördes med samma randvilkor som för den dynamiska FEM simuleringen.



**Figur 58 Hastighetstopp vid 216 Hz**

Den senare toppen vid 216 Hz, som visas tydligare i figur 59, ligger väldigt nära den första eigenmoden som mäts vid 200 Hz som visas i figur 60. Då skillnaden mellan de två värdena endast är 8 % och då toppen vid 216 Hz är den högsta som framkommer i hastighetsfördelningen över frekvensspektrat i figur 55 tyder på att de två är sammankopplade.

Det som kan ha resulterat i detta fel skulle kunna vara storleken på elementen i simuleringen som var på 1 dm, som för en simulering på 6 m<sup>2</sup> är väldigt stora. Detta i kombination med att FEM är en approximativ metod för att lösa sådana här avancerade partiella differential problem. Dessa svagheter kan ha gjort att golvets rörelser inte simulerats fullt korrekt, men tillräckligt korrekt för att dessa två detaljer kan kopplas till varandra.



**Figur 59 Första Eigenmoden vid 200 Hz**



## 7 Slutsats

Det har framkommit under arbetet att ta fram en modell av gångmönstret för män inte enbart är en funktion av längd. Vissa av variablerna var kopplade till längden (I1, L1 och L2) medan andra (d1, d2, d3, D1 och D2) är kopplade till något annat kroppsmått, antagligen bredden på bäckenet. En viktig observation från figurerna som visar på variablerna (L1 och L2) i längdriktningen är att även om det skiljer sig en del på dessa för de olika längdgrupperna så är inte detta en större skillnad över den korta sträckan på 3 meter som experimentet utfördes. Det kan ha att göra med t.ex. det inte är hela kroppslängden utan bara benlängden som spelar roll för steglängden. Då benen är bara en viss dellängd av kroppen så kommer det vara en mindre spridning av längden på dem och detta skulle kunna vara en förklaring till att det inte är en så stor skillnad på steglängden mellan olika längdgrupper.

Provgruppen som behandlades på 150 män gav en fungerande modell men det krävs fler försökspersoner för att de olika Markovkedjorna ska fungera bättre då många av värdena bara kan skifta till ett annat värde. Något som antagligen beror på för få försökspersoner är de kurvor som visar den procentuella fördelningen av respektive variabel är ”taggiga” dvs. inte har någon mjuk klockkurveform och detta kan betyda att överföringsmatriserna inte har någon jämn sannolikhet. Detta skulle antagligen lösas med fler försök.

De 35 Markovkedjorna som togs fram under arbetet fungerade bra att använda till simulering av gång på ett bjälklag och det gick att se skillnad på utböjningar och hastigheter beroende på vilket avstånd från ränderna som belastningen applicerades under tidsflödet. Dock så är de olika Markovkedjorna frikopplade från varandra. Detta är en svaghet då ett steg med stor bredd mellan insidorna av hämlarna (d1) antagligen har en tendens att inte bli lika långt i gångriktningen och ett långt steg kan möjligtvis vara smalare.

I simuleringen av bjälklaget framgick en hel del saker t.ex. i figur 53 ser man att vid första steget sattes första egenmoden i rörelse och senare steg startade fler moder. Det gick också att se att det blev stora förskjutningar i belastningstillfället och detta skulle kunna användas till att beräkna ett förskjutningsljud utifrån detta vilket i dagens stegljudsisoleringsystematik inte tar hänsyn till. I PSD-analysen framgår hur hela golvet antagligen kommer att stråla ut ljud då den har två framträdande delar i det hörbara området 63 och 80 Hz-terserna och 200 och 250 Hz-terserna. Vibrationsnivåerna för excitationpunkterna liknade alla varandra och hade alla en väldigt jämn nivå över vibrationsspektrat förutom vid 80 och 100 Hz-terserna. De låg dessutom väldigt mycket högre än genomsnittet för hela golvet vilket tyder på att de kommer stråla ut mycket mer ljud.

Det viktigaste som framgick ur FEM simuleringen var kopplingen mellan hastighetstoppen vid 216 Hz och egenmoden vid 200 Hz. Detta är viktigt ifall denna frekvens skulle behövas dämpas ut så behövs det förändringar i konstruktionen.

Skillnaden i frekvens är antagligen kopplad till att FEM är en approximativ metod och därför inte kommer resultera i ett exakt resultat dessutom användes stora element

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

(1 dm) vid simuleringen och därmed påverkade korrektheten i det simulerade golvet rörelser.

Sett till det totala går det bra att använda FEM-simulering till att beräkna hur golvet kommer att stråla ut ljud och vibrera vilket kan leda till att sämre konstruktioner kan undvikas.

### **7.1 Förslag till fortsatta studier**

Under arbetet har ett antal saker framkommit som det skulle gå att arbeta vidare med i projektet. Det som har varit som grund för hela arbetet dvs. statistikinsamlingen och bearbetning av denna har visat på att ett av de grundläggande antaganden, att de olika variablerna skulle vara kopplade till den totala kroppslängden, antagligen inte är fullt korrekt. Istället skulle arbetet kunna fortgå med att undersöka kopplingen av variablerna till benlängden och bredden av bäckenet.

Dessutom är simuleringen av steg beroende på några frikopplade Markovkedjor i detta arbete. För att få en mer korrekt simulering skulle dessa behövas kopplas ihop så de olika variablerna beror på mer värden i det/de tidigare steget eller stegen.

## Bibliografi

- [1] Bard, D., Persson, K. och Sandberg G., *Human Footsteps induced floor vibrations*, Acoustic 08, Paris Frankrike, Juli 2008
- [2] Rydén, T. och Lindgren, G., *Markovprocesser*, 2:a upplagan, Lunds Universitet med Lunds Tekniska Högskola Matematisk Statistik, Matematikcentrum, Lund, 2000
- [3] Austrell, P.E., Dahlblom, O., Lindemann, J., Olsson, A., Olsson, K.G., Persson, K., Petersson, H., Ristinmaa, M., Sandberg, G., Wernberg, P.A., *CALFEM, a Finite Element Toolbox, version 3.4*, Byggnadsmekanik vid Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2004
- [4] Kristensen, J. och Rindel, J.H., *Byggningsakustik*, 2:a upplagan, STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT, Danmark, 1989
- [5] Nilsson, E., Johansson, A.C., J. Brunskog, J., Sjökvist, L.G. och Holmberg, D., *Grundläggande Akustik*, 4:e upplagan, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2008
- [6] *Byggnadsakustik*, Avdelningen för Teknisk Akustik, LTH, Lunds Universitet, Lund, 2000
- [7] Bild av Viktningskurvor, Prosound, <http://www.prosoundweb.com> [2008-03-20]
- [8] Bild av Fletcher-Munson kurvor wikimedia  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:FletcherMunson\\_ELC.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:FletcherMunson_ELC.svg) [2008-03-19]
- [9] Acoustical society of America, *Echoes*, Volume 17, Number 4, Fall 2007, USA





## Appendix A Markovkedjor för de enskilda längdgrupperna

### Markovkedjor för d1

$d1_{170-175}$

Överföringsmatrisen för d1 för 170-175 är på 18x18 värden.

$$P_{d1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0345 & 0.069 & \dots & 0 & 0 & 0.0345 \\ 0 & 0.25 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6667 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1.00 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d1:170-175}$ .

$$p^{(0)}_{d1:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d1:170-175}$  och  $p^{(0)}_{d1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p^{(1)}_{d1:170-175}$ .

$P_{d1:170-175}$  och  $p^{(1)}_{d1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p^{(2)}_{d1:170-175}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{d1:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1\text{cm} \\ 2\text{cm} \\ 3\text{cm} \\ 4\text{cm} \\ 5\text{cm} \\ 6\text{cm} \\ 7\text{cm} \\ 8\text{cm} \\ 9\text{cm} \\ 10\text{cm} \\ 11\text{cm} \\ 12\text{cm} \\ 13\text{cm} \\ 14\text{cm} \\ 15\text{cm} \\ 16\text{cm} \\ 18\text{cm} \end{bmatrix} \quad p^{(1)}_{d1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0.1724 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \end{bmatrix}^T \quad p^{(2)}_{d1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0653 \\ 0.0099 \\ 0.1062 \\ 0.1348 \\ 0.0619 \\ 0.0673 \\ 0.0608 \\ 0.0460 \\ 0.1785 \\ 0.0259 \\ 0.1303 \\ 0 \\ 0.0415 \\ 0.0099 \\ 0.0276 \\ 0.0345 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

**d1**<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för d1 för 176-180 är på 22x22 värden.

$$P_{d1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0233 & 0 & \dots & 0.0465 & 0.0465 & 0.0233 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d1:175-180}$ .

$$p^{(0)}_{d1:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d1:176-180}$  och  $p^{(0)}_{d1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p^{(1)}_{d1:176-180}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$P_{d1:176-180}$  och  $p(1)_{d1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d1:176-180}$ .

$$W_{d1:175-180} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ -5\text{ cm} \\ -3\text{ cm} \\ -2\text{ cm} \\ -1\text{ cm} \\ 0\text{ cm} \\ 1\text{ cm} \\ 2\text{ cm} \\ 3\text{ cm} \\ 4\text{ cm} \\ 5\text{ cm} \\ 6\text{ cm} \\ 7\text{ cm} \\ 8\text{ cm} \\ 9\text{ cm} \\ 10\text{ cm} \\ 11\text{ cm} \\ 12\text{ cm} \\ 13\text{ cm} \\ 14\text{ cm} \\ 15\text{ cm} \\ 16\text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0930 \\ 0.0465 \\ 0.1395 \\ 0.1163 \\ 0.0698 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.1163 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0174 \\ 0.0438 \\ 0.0244 \\ 0.0215 \\ 0.0782 \\ 0.1212 \\ 0.0992 \\ 0.0804 \\ 0.0910 \\ 0.1055 \\ 0.0557 \\ 0.0631 \\ 0.0395 \\ 0.0769 \\ 0.0377 \\ 0.0155 \\ 0.0291 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d1**<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för d1 för 181-185 är på 21x21 värden.

$$P_{d1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0333 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d1:181-185}$ .

$$p(0)_{d1:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d1:181-186}$  och  $p(0)_{d1:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d1:181-185}$ .

$P_{d1:181-186}$  och  $p(1)_{d1:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d1:181-185}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{d:181-185} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ -5\text{cm} \\ -4\text{cm} \\ -3\text{cm} \\ -2\text{cm} \\ -1\text{cm} \\ 0\text{cm} \\ 1\text{cm} \\ 2\text{cm} \\ 3\text{cm} \\ 4\text{cm} \\ 5\text{cm} \\ 6\text{cm} \\ 7\text{cm} \\ 8\text{cm} \\ 9\text{cm} \\ 10\text{cm} \\ 11\text{cm} \\ 12\text{cm} \\ 13\text{cm} \\ 14\text{cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.1000 \\ 0.0333 \\ 0.1000 \\ 0.1667 \\ 0.1333 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.1333 \\ 0.1000 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0222 \\ 0 \\ 0.0137 \\ 0.0387 \\ 0.0192 \\ 0.0361 \\ 0.0706 \\ 0.0972 \\ 0.0704 \\ 0.0770 \\ 0.2593 \\ 0.0415 \\ 0.0935 \\ 0.0415 \\ 0.0359 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0.0167 \\ 0.0333 \\ 0.0167 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d1**<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för d1 för 186-190 är på 27x27 värden.

$$P_{d1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.0208 & 0.0208 & 0.0208 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d1:186-190}$ .

$$p(0)_{d1:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d1:186-190}$  och  $p(0)_{d1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d1:186-190}$ .

$P_{d1:186-190}$  och  $p(1)_{d1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d1:186-190}$ .

Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$\begin{matrix}
 W_{d:186-190} = & \begin{matrix} \text{steg1} \\ -9 \text{ cm} \\ -4 \text{ cm} \\ -3 \text{ cm} \\ -2 \text{ cm} \\ -1 \text{ cm} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \end{matrix} & p(1)_{d:186-190} = & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0417 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0625 \\ 0.1042 \\ 0.0417 \\ 0.0208 \\ 0.1458 \\ 0.1042 \\ 0 \\ 0.0833 \\ 0.0417 \\ 0.0208 \\ 0.1042 \\ 0.0833 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \end{matrix} & p(2)_{d:186-190} = & \begin{matrix} 0 \\ 0.0139 \\ 0.0026 \\ 0 \\ 0.0116 \\ 0.0116 \\ 0.0190 \\ 0.0454 \\ 0.0563 \\ 0.0737 \\ 0.0832 \\ 0.1173 \\ 0.0727 \\ 0.0694 \\ 0.0873 \\ 0.0516 \\ 0.1104 \\ 0.0551 \\ 0.0176 \\ 0.0241 \\ 0.0324 \\ 0.0137 \\ 0.0104 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

## Markovkedjor för d2

**d2**<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för d2 för 170-175 är på 11x11 värden.

$$P_{d2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1034 & \bullet\bullet\bullet & 0.0345 & 0.0345 & 0 \\ 0 & 0 & 0.500 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.6667 & 0.3333 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.00 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d2:170-175}$ .

$$p(0)_{d2:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d2:170-175}$  och  $p(0)_{d2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d2:170-175}$ .

$P_{d2:170-175}$  och  $p(1)_{d2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d2:170-175}$ .

$$W_{d2:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0.1724 \\ 0.2414 \\ 0.1379 \\ 0.1379 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0259 \\ 0.0833 \\ 0.0254 \\ 0.1485 \\ 0.2872 \\ 0.1686 \\ 0.1794 \\ 0.0472 \\ 0.0230 \\ 0.0115 \end{bmatrix}^T$$



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d1**<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för d2 för 176-180 är på 22x22 värden.

$$P_{d2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0233 & 0.0233 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0.0233 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d2:176-180}$ .

$$p(0)_{d2:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d2:176-180}$  och  $p(0)_{d2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d2:176-180}$ .

$P_{d2:176-180}$  och  $p(1)_{d2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d1:176-180}$ .

$$W_{d2:176-180} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0930 \\ 0.1163 \\ 0.2791 \\ 0.1628 \\ 0.1628 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0698 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0226 \\ 0.0294 \\ 0.1454 \\ 0.0623 \\ 0.1340 \\ 0.2827 \\ 0.1133 \\ 0.0868 \\ 0.1006 \\ 0.0103 \\ 0.0055 \\ 0.0071 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d2<sub>181-185</sub>**

Överföringsmatrisen för d2 för 181-185 är på 13x13 värden.

$$P_{d_{2:181-185}} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0.0333 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.0333 & 0.0333 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0333 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d_{2:181-185}}$ .

$$p(0)_{d_{2:181-185}} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d_{2:181-185}}$  och  $p(0)_{d_{2:181-185}}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d_{2:181-185}}$ .

$P_{d_{2:181-185}}$  och  $p(1)_{d_{2:181-185}}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d_{2:181-185}}$ .

$$W_{d_{2:181-185}} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d_{2:181-185}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.3333 \\ 0.0667 \\ 0.1667 \\ 0.1333 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d_{2:181-185}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0317 \\ 0.0413 \\ 0.0868 \\ 0.1508 \\ 0.1225 \\ 0.1458 \\ 0.2425 \\ 0.0319 \\ 0.1001 \\ 0.0467 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d2**<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för d2 för 186-190 är på 15x15 värden.

$$P_{d2:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0208 & \bullet\bullet\bullet & 0.0208 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.0000 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d2:186-190}$ .

$$p(0)_{d2:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d2:186-190}$  och  $p(0)_{d2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d2:186-190}$ .

$P_{d2:186-190}$  och  $p(1)_{d2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d2:186-190}$ .

$$W_{d2:186-190} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d2:186-190} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0417 \\ 0.0833 \\ 0.1667 \\ 0.2500 \\ 0.2292 \\ 0.0833 \\ 0.0625 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d2:186-190} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0060 \\ 0.0245 \\ 0.0604 \\ 0.0443 \\ 0.1354 \\ 0.1950 \\ 0.2541 \\ 0.1367 \\ 0.0791 \\ 0.0436 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \end{bmatrix}^T$$

## Markovkedjor för d3

**d3**<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för d3 för 170-175 är på 26x26 värden.

$$P_{d_{3:170-175}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0345 & \dots & 0.0345 & 0 & 0.0345 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d_{3:170-175}}$ .

$$p(0)_{d_{3:170-175}} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d_{3:170-175}}$  och  $p(0)_{d_{3:170-175}}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d_{3:170-175}}$ .

$P_{d_{3:170-175}}$  och  $p(1)_{d_{3:170-175}}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d_{3:170-175}}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{d:3:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1.1 \text{ cm} \\ 1.2 \text{ cm} \\ 1.3 \text{ cm} \\ 1.4 \text{ cm} \\ 1.5 \text{ cm} \\ 1.6 \text{ cm} \\ 1.7 \text{ cm} \\ 1.8 \text{ cm} \\ 1.9 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ 2.1 \text{ cm} \\ 2.2 \text{ cm} \\ 2.3 \text{ cm} \\ 2.4 \text{ cm} \\ 2.5 \text{ cm} \\ 2.6 \text{ cm} \\ 2.7 \text{ cm} \\ 2.8 \text{ cm} \\ 2.9 \text{ cm} \\ 3.0 \text{ cm} \\ 3.4 \text{ cm} \\ 3.5 \text{ cm} \\ 3.8 \text{ cm} \\ 4.5 \text{ cm} \\ 8.4 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{d:3:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.1724 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{d:3:170-175} = \begin{bmatrix} 00 \\ 0.0575 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0038 \\ 0.0230 \\ 0.0172 \\ 0.0172 \\ 0.0345 \\ 0.1038 \\ 0.0958 \\ 0.0556 \\ 0.1034 \\ 0.0770 \\ 0.0843 \\ 0.0793 \\ 0.0621 \\ 0.0172 \\ 0.0552 \\ 0.0345 \\ 0.0172 \\ 0.0038 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0230 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d3**<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för d3 för 176-180 är på 27x27 värden.

$$P_{d_{3:176-180}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.0233 & 0.0233 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d_{3:176-180}}$ .

$$p(0)_{d_{3:176-180}} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d_{3:176-180}}$  och  $p(0)_{d_{3:176-180}}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{d_{3:176-180}}$ .

$P_{d_{3:176-180}}$  och  $p(1)_{d_{3:176-180}}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{d_{3:176-180}}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{d:3:176-180} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 0.8 \text{ cm} \\ 1.1 \text{ cm} \\ 1.2 \text{ cm} \\ 1.3 \text{ cm} \\ 1.4 \text{ cm} \\ 1.5 \text{ cm} \\ 1.6 \text{ cm} \\ 1.7 \text{ cm} \\ 1.8 \text{ cm} \\ 1.9 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ 2.1 \text{ cm} \\ 2.2 \text{ cm} \\ 2.3 \text{ cm} \\ 2.4 \text{ cm} \\ 2.5 \text{ cm} \\ 2.6 \text{ cm} \\ 2.7 \text{ cm} \\ 2.8 \text{ cm} \\ 2.9 \text{ cm} \\ 3.0 \text{ cm} \\ 3.1 \text{ cm} \\ 3.2 \text{ cm} \\ 3.3 \text{ cm} \\ 3.6 \text{ cm} \\ 5.2 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{d:3:176-180} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0698 \\ 0 \\ 0.0930 \\ 0.1163 \\ 0.0930 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \\ 0.1163 \\ 0.0233 \\ 0.0930 \\ 0.0698 \\ 0.0465 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{d:3:176-180} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0262 \\ 0 \\ 0.0145 \\ 0.0407 \\ 0.0388 \\ 0.0220 \\ 0.0194 \\ 0.0278 \\ 0.0562 \\ 0.0510 \\ 0.0452 \\ 0.0465 \\ 0.0971 \\ 0.0907 \\ 0.0785 \\ 0.0656 \\ 0.0995 \\ 0.0171 \\ 0.0562 \\ 0.0336 \\ 0.0116 \\ 0.0317 \\ 0 \\ 0.0302 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
---------------------	--	------------------------	---	------------------------	---

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **d3**<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för d3 för 181-185 är på 26x26 värden.

$$P_{d3:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0.0333 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d3:181-185}$ .

$$p(0)_{d3:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d3:181-185}$  och  $p(0)_{d3:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{d3:181-185}$ .

$P_{d3:181-185}$  och  $p(1)_{d3:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{d3:181-185}$ .



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{d_{3:181-185}} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1.1 \text{ cm} \\ 1.2 \text{ cm} \\ 1.3 \text{ cm} \\ 1.5 \text{ cm} \\ 1.6 \text{ cm} \\ 1.7 \text{ cm} \\ 1.8 \text{ cm} \\ 1.9 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ 2.1 \text{ cm} \\ 2.2 \text{ cm} \\ 2.3 \text{ cm} \\ 2.4 \text{ cm} \\ 2.5 \text{ cm} \\ 2.6 \text{ cm} \\ 2.7 \text{ cm} \\ 2.8 \text{ cm} \\ 2.9 \text{ cm} \\ 3.0 \text{ cm} \\ 3.1 \text{ cm} \\ 3.2 \text{ cm} \\ 3.3 \text{ cm} \\ 3.6 \text{ cm} \\ 3.8 \text{ cm} \\ 5.0 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{d_{3:181-185}} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0.1333 \\ 0.0333 \\ 0.1000 \\ 0.0667 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.1000 \\ 0 \\ 0.1000 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0333 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{d_{3:181-185}} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0083 \\ 0.0200 \\ 0 \\ 0.0200 \\ 0.0167 \\ 0.0400 \\ 0.0333 \\ 0.0531 \\ 0.0765 \\ 0.0830 \\ 0.0806 \\ 0.0783 \\ 0.0865 \\ 0.0987 \\ 0.0565 \\ 0.0870 \\ 0.0667 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0083 \\ 0.0281 \\ 0.0133 \\ 0.0250 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
-----------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

**d3**<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för d3 för 186-190 är på 26x26 värden.

$$P_{d_{3:186-190}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.0417 & 0.0208 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{d_{3:186-190}}$ .

$$p(0)_{d_{3:186-190}} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{d_{3:186-190}}$  och  $p(0)_{d_{3:186-190}}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{d_{3:186-190}}$ .

$P_{d_{3:186-190}}$  och  $p(1)_{d_{3:186-190}}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{d_{3:186-190}}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{d_{3:186-190}} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1.1 \text{ cm} \\ 1.2 \text{ cm} \\ 1.3 \text{ cm} \\ 1.5 \text{ cm} \\ 1.6 \text{ cm} \\ 1.7 \text{ cm} \\ 1.8 \text{ cm} \\ 1.9 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \\ 2.1 \text{ cm} \\ 2.2 \text{ cm} \\ 2.3 \text{ cm} \\ 2.4 \text{ cm} \\ 2.5 \text{ cm} \\ 2.6 \text{ cm} \\ 2.7 \text{ cm} \\ 2.8 \text{ cm} \\ 2.9 \text{ cm} \\ 3.0 \text{ cm} \\ 3.1 \text{ cm} \\ 3.2 \text{ cm} \\ 3.3 \text{ cm} \\ 3.6 \text{ cm} \\ 3.8 \text{ cm} \\ 5.0 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{d_{3:186-190}} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0083 \\ 0.0200 \\ 0 \\ 0.0200 \\ 0.0167 \\ 0.0400 \\ 0.0333 \\ 0.0531 \\ 0.0765 \\ 0.0830 \\ 0.0806 \\ 0.0783 \\ 0.0865 \\ 0.0987 \\ 0.0565 \\ 0.0870 \\ 0.0667 \\ 0.0067 \\ 0.0133 \\ 0.0083 \\ 0.0281 \\ 0.0133 \\ 0.0250 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{d_{3:186-190}} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0125 \\ 0.0125 \\ 0.0104 \\ 0.0417 \\ 0.0234 \\ 0.0278 \\ 0.0116 \\ 0.0182 \\ 0.0535 \\ 0.0677 \\ 0.1348 \\ 0.0897 \\ 0.1033 \\ 0.0787 \\ 0.0625 \\ 0.0469 \\ 0.0246 \\ 0.0122 \\ 0.0486 \\ 0.0512 \\ 0.0125 \\ 0.0454 \\ 0.0104 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
-----------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	---

## Markovkedjor för I1

$I1_{170-175}$

Överföringsmatrisen för I1 för 170-175 är på 9x9 värden.

$$P_{I1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0345 & 0.0345 & \dots & 0.0690 & 0 & 0.0345 \\ 0 & 0 & 1.0000 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2500 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.1429 & 0.2857 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.50 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1.00 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{I1:170-175}$ .

$$p(0)_{I1:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{I1:170-175}$  och  $p(0)_{I1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{I1:170-175}$ .

$P_{I1:170-175}$  och  $p(1)_{I1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{I1:170-175}$ .

$$W_{I1:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{I1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.1724 \\ 0.3103 \\ 0.3448 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0.0345 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{I1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0816 \\ 0.1326 \\ 0.3570 \\ 0.2469 \\ 0.1278 \\ 0.0542 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### I1<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för I1 för 176-180 är på 10x10 värden.

$$P_{I1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0233 & \dots & 0.2558 & 0.1163 & 0.0233 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.5333 & 0.2333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.50 & 0.2857 & 0.2143 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1.00 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{I1:176-180}$ .

$$p(0)_{I1:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{I1:176-180}$  och  $p(0)_{I1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{I1:176-180}$ .

$P_{I1:176-180}$  och  $p(1)_{I1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{I1:176-180}$ .

$$W_{I1:175-180} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 18 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{I1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.1163 \\ 0.1395 \\ 0.3023 \\ 0.2558 \\ 0.1163 \\ 0.0233 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{I1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0629 \\ 0.1575 \\ 0.2890 \\ 0.2997 \\ 0.1429 \\ 0.0249 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### I1<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för I1 för 181-185 är på 9x9 värden.

$$P_{I1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.0333 & 0.1667 & 0 \\ 0 & 0 & 1.000 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.4286 & 0.1429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.1667 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.00 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{I1:181-185}$ .

$$p(0)_{I1:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{I1:181-185}$  och  $p(0)_{I1:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{I1:181-185}$ .

$P_{I1:181-185}$  och  $p(1)_{I1:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{I1:181-185}$ .

$$W_{I1:181-185} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{I1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.1333 \\ 0.2333 \\ 0.4000 \\ 0.0333 \\ 0.1667 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{I1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0383 \\ 0.2890 \\ 0.2697 \\ 0.2371 \\ 0.0603 \\ 0.0722 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### I1<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för I1 för 186-190 är på 9x9 värden.

$$P_{I1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0833 & \bullet\bullet\bullet & 0.1667 & 0.0417 & 0.0208 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0.0385 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.5769 & 0.1923 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.600 & 0.200 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 1.00 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{I1:186-190}$ .

$$p(0)_{I1:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{I1:186-190}$  och  $p(0)_{I1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{I1:186-190}$ .

$P_{I1:186-190}$  och  $p(1)_{I1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{I1:186-190}$ .

$$W_{I1:186-190} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \\ 31 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{I1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0833 \\ 0.0833 \\ 0.2917 \\ 0.3125 \\ 0.1667 \\ 0.0417 \\ 0.0208 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{I1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0165 \\ 0.0517 \\ 0.1345 \\ 0.1589 \\ 0.3753 \\ 0.2143 \\ 0.0488 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Markovkedjor för L1

### L1<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för L1 för 170-175 är på 32x32 värden.

$$P_{L1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0345 & 0.0345 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L1:170-175}$ .

$$p(0)_{L1:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L1:170-175}$  och  $p(0)_{L1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L1:170-175}$ .

$P_{L1:170-175}$  och  $p(1)_{L1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L1:170-175}$ .



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{L1:170-175}$	=	$p(1)_{L1:170-175}$	=	$p(2)_{L1:170-175}$	=
steg1		0		0	
35 cm		0.0345		0	
46 cm		0.0345		0.0069	
47 cm		0		0.0069	
49 cm		0		0.0115	
50 cm		0.0345		0.0345	
51 cm		0.0345		0	
52 cm		0.0690		0.0575	
53 cm		0.0345		0.0690	
54 cm		0.0345		0.0230	
55 cm		0		0.0287	
56 cm		0.0345		0.0086	
57 cm		0		0.0356	
58 cm		0.0690		0.0086	
59 cm		0.0345		0.0690	
60 cm		0.0345		0.0299	
61 cm		0.0690		0.0086	
62 cm		0.0345		0.0414	
63 cm		0.0690		0.0575	
64 cm		0.1034		0.0115	
65 cm		0.0690		0.0603	
66 cm		0.0345		0.0948	
67 cm		0.0345		0.0603	
68 cm		0		0.0374	
69 cm		0		0.0259	
70 cm		0.0345		0.0862	
71 cm		0.0345		0.0230	
73 cm		0.0345		0.0172	
74 cm		0.0345		0.0345	
76 cm		0		0.0345	
78 cm		0		0	
82 cm		0		0.0172	

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **L1<sub>176-180</sub>**

Överföringsmatrisen för L1 för 176-180 är på 33x33 värden.

$$P_{L1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0233 & 0.0233 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L1:176-180}$ .

$$p(0)_{L1:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L1:176-180}$  och  $p(0)_{L1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L1:176-180}$ .

$P_{L1:176-180}$  och  $p(1)_{L1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L1:176-180}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

<i>steg1</i>	0	0
42 cm	0.0233	0
44 cm	0.0233	0
47 cm	0	0.0233
49 cm	0.0233	0
50 cm	0	0.0116
51 cm	0	0.0116
53 cm	0.0465	0.0078
54 cm	0.0233	0.0616
55 cm	0	0.0446
56 cm	0	0.0407
57 cm	0	0.0174
58 cm	0.0233	0.0174
59 cm	0.1395	0.0271
60 cm	0.0465	0
61 cm	0.0698	0.0429
$W_{L:175-180} =$ 62 cm	$p(1)_{L:176-180} =$ 0.0465	$p(2)_{L:176-180} =$ 0.0672
63 cm	0.1163	0.0746
64 cm	0.0930	0.0691
65 cm	0.0465	0.0572
66 cm	0	0.0233
67 cm	0.0465	0.0274
68 cm	0.0698	0.0687
69 cm	0.0233	0.0496
70 cm	0.0465	0.0514
71 cm	0	0.0279
72 cm	0.0698	0.0544
73 cm	0	0.0174
74 cm	0.0233	0.0203
75 cm	0	0.0621
76 cm	0	0.0233
77 cm	0	0
81 cm	0	0

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **L1**<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för L1 för 181-185 är på 30x30 värden.

$$P_{L1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0 & \dots & 0.0667 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.000 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L1:181-185}$ .

$$p(0)_{L1:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L1:181-185}$  och  $p(0)_{L1:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L1:181-185}$ .

$P_{L1:181-185}$  och  $p(1)_{L1:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L1:181-185}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{L:181-185} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 47 \text{ cm} \\ 50 \text{ cm} \\ 51 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \\ 55 \text{ cm} \\ 57 \text{ cm} \\ 58 \text{ cm} \\ 59 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} \\ 61 \text{ cm} \\ 62 \text{ cm} \\ 63 \text{ cm} \\ 64 \text{ cm} \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 70 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 75 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 78 \text{ cm} \\ 82 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{L:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.1333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.1000 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{L:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0 \\ 0.0500 \\ 0.0306 \\ 0.0500 \\ 0.0306 \\ 0.0333 \\ 0.0083 \\ 0.0611 \\ 0.0924 \\ 0.0495 \\ 0.0634 \\ 0.1012 \\ 0.0833 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0190 \\ 0.0361 \\ 0.0233 \\ 0.0556 \\ 0.0222 \\ 0.0444 \\ 0.0222 \\ 0.0067 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

**L1**<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för L1 för 186-190 är på 34x34 värden.

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$P_{L1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0208 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L1:186-190}$ .

$$p(0)_{L1:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L1:186-190}$  och  $p(0)_{L1:186-190}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{L1:186-190}$ .

$P_{L1:186-190}$  och  $p(1)_{L1:186-190}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{L1:186-190}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

	$p(1)_{L:186-190} =$	$p(2)_{L:186-190} =$
<i>steg1</i>	0	0
37 cm	0.0208	0
45 cm	0	0.0208
48 cm	0.0208	0
49 cm	0.0208	0
50 cm	0	0.0104
53 cm	0.0208	0
55 cm	0	0
56 cm	0.0417	0.0104
57 cm	0.0208	0.0104
58 cm	0.0208	0
59 cm	0.0625	0.0184
60 cm	0.0417	0.0496
61 cm	0.0208	0.0511
62 cm	0.0833	0.0288
63 cm	0.0625	0.0821
64 cm	0.1042	0.0859
65 cm	0.0625	0.0423
66 cm	0.1250	0.0776
67 cm	0	0.0148
68 cm	0.0208	0.0839
69 cm	0.0417	0.0194
70 cm	0.0417	0.0597
71 cm	0.0208	0.1050
72 cm	0.0625	0.0451
73 cm	0.0208	0.0380
74 cm	0.0208	0.0506
75 cm	0	0.0270
76 cm	0.0208	0.0199
77 cm	0	0.0278
78 cm	0.0208	0
79 cm	0	0.0208
80 cm	0	0
83 cm	0	0

## Markovkedjor för L2

### L2<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för L2 för 170-175 är på 35x35 värden.

$$P_{L2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0345 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.069 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L2:170-175}$ .

$$p(0)_{L2:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L2:170-175}$  och  $p(0)_{L2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L2:170-175}$ .

$P_{L2:170-175}$  och  $p(1)_{L2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L2:170-175}$ .



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{L2:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 34 \text{ cm} \\ 45 \text{ cm} \\ 46 \text{ cm} \\ 47 \text{ cm} \\ 49 \text{ cm} \\ 50 \text{ cm} \\ 51 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \\ 54 \text{ cm} \\ 55 \text{ cm} \\ 56 \text{ cm} \\ 57 \text{ cm} \\ 58 \text{ cm} \\ 59 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} \\ 61 \text{ cm} \\ 62 \text{ cm} \\ 63 \text{ cm} \\ 64 \text{ cm} \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 70 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 78 \text{ cm} \\ 82 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{L2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0.1379 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.1379 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{L2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0172 \\ 0 \\ 0.0138 \\ 0 \\ 0.0431 \\ 0.0322 \\ 0.0845 \\ 0.0069 \\ 0.0172 \\ 0.0138 \\ 0.0086 \\ 0 \\ 0.0764 \\ 0.0172 \\ 0 \\ 0.0460 \\ 0.0207 \\ 0.0460 \\ 0.0345 \\ 0.0759 \\ 0.0805 \\ 0.1138 \\ 0.0115 \\ 0.0678 \\ 0.0517 \\ 0.0172 \\ 0.0172 \\ 0.0172 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### L2<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för L2 för 176-180 är på 35x35 värden.

$$P_{L2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0233 & 0.0233 & \bullet\bullet\bullet & 0.0233 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.500 & 0.500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L2:176-180}$ .

$$p(0)_{L2:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L2:176-180}$  och  $p(0)_{L2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L2:176-180}$ .

$P_{L2:176-180}$  och  $p(1)_{L2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L2:176-180}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{L:175-180}$	=	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 42 \text{ cm} \\ 44 \text{ cm} \\ 46 \text{ cm} \\ 48 \text{ cm} \\ 49 \text{ cm} \\ 50 \text{ cm} \\ 51 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \\ 54 \text{ cm} \\ 55 \text{ cm} \\ 56 \text{ cm} \\ 57 \text{ cm} \\ 58 \text{ cm} \\ 59 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} \\ 61 \text{ cm} \\ 62 \text{ cm} \\ 63 \text{ cm} \\ 64 \text{ cm} \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 70 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 75 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 82 \text{ cm} \end{bmatrix}$	=	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0465 \\ 0.0698 \\ 0.1395 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0698 \\ 0.1860 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \\ 0 \\ 0.0465 \\ 0.0698 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	=	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0116 \\ 0.0116 \\ 0.0217 \\ 0 \\ 0.0368 \\ 0.0233 \\ 0.0291 \\ 0.0233 \\ 0.0078 \\ 0.0333 \\ 0.0116 \\ 0.0414 \\ 0.0279 \\ 0.0519 \\ 0.0558 \\ 0.0562 \\ 0.0833 \\ 0.0306 \\ 0.0306 \\ 0.0849 \\ 0.0512 \\ 0.0628 \\ 0.0174 \\ 0 \\ 0.0674 \\ 0.0202 \\ 0.0581 \\ 0.0271 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
-----------------	---	--	---	--	---	--

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### L2<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för L2 för 181-185 är på 30x30 värden.

$$P_{L2:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0 & \dots & 0.0333 & 0.0333 & 0 \\ 0 & 0 & 1.000 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L2:181-185}$ .

$$p(0)_{L2:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L2:181-185}$  och  $p(0)_{L2:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{L2:181-185}$ .

$P_{L2:181-185}$  och  $p(1)_{L2:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{L2:181-185}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{L2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 47 \text{ cm} \\ 51 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \\ 54 \text{ cm} \\ 55 \text{ cm} \\ 56 \text{ cm} \\ 57 \text{ cm} \\ 58 \text{ cm} \\ 59 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} \\ 61 \text{ cm} \\ 62 \text{ cm} \\ 63 \text{ cm} \\ 64 \text{ cm} \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 75 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 78 \text{ cm} \\ 82 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{L2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.1000 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{L2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0167 \\ 0 \\ 0.0133 \\ 0 \\ 0.0133 \\ 0.0133 \\ 0.0583 \\ 0.0444 \\ 0.0250 \\ 0 \\ 0.0633 \\ 0.0467 \\ 0.0678 \\ 0.0383 \\ 0.0883 \\ 0.0828 \\ 0.0556 \\ 0.0267 \\ 0.1017 \\ 0.0361 \\ 0.0167 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0917 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0.0167 \end{bmatrix}^T$
--------------------	---	-----------------------	--	-----------------------	---

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### L2<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för L2 för 186-190 är på 33x33 värden.

$$P_{L2:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{L2:186-190}$ .

$$p(0)_{L2:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{L2:186-190}$  och  $p(0)_{L2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{L2:186-190}$ .

$P_{L2:186-190}$  och  $p(1)_{L2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{L2:186-190}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

	$\left[ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0625 \\ 0.0417 \\ 0.0625 \\ 0.0208 \\ 0.0833 \\ 0.0625 \\ 0.0417 \\ 0.1042 \\ 0.1042 \\ 0.0625 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0833 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0.0417 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0417 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right]^T$	$\left[ \begin{array}{c} 0 \\ 0.0089 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0.0083 \\ 0 \\ 0.0327 \\ 0.0565 \\ 0.0357 \\ 0.0437 \\ 0.0580 \\ 0.0719 \\ 0.0461 \\ 0.0610 \\ 0.0440 \\ 0.0561 \\ 0.0381 \\ 0.0387 \\ 0.0642 \\ 0.0923 \\ 0.0722 \\ 0.0666 \\ 0.0089 \\ 0.0215 \\ 0 \\ 0.0089 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0030 \end{array} \right]^T$
$W_{L:186-190} =$	$p(1)_{L:186-190} =$	$p(2)_{L:186-190} =$
$\left[ \begin{array}{l} \text{steg1} \\ 41 \text{ cm} \\ 46 \text{ cm} \\ 49 \text{ cm} \\ 50 \text{ cm} \\ 52 \text{ cm} \\ 54 \text{ cm} \\ 56 \text{ cm} \\ 57 \text{ cm} \\ 58 \text{ cm} \\ 59 \text{ cm} \\ 60 \text{ cm} \\ 61 \text{ cm} \\ 62 \text{ cm} \\ 63 \text{ cm} \\ 64 \text{ cm} \\ 65 \text{ cm} \\ 66 \text{ cm} \\ 67 \text{ cm} \\ 68 \text{ cm} \\ 69 \text{ cm} \\ 70 \text{ cm} \\ 71 \text{ cm} \\ 72 \text{ cm} \\ 73 \text{ cm} \\ 74 \text{ cm} \\ 75 \text{ cm} \\ 76 \text{ cm} \\ 77 \text{ cm} \\ 78 \text{ cm} \\ 79 \text{ cm} \\ 80 \text{ cm} \\ 85 \text{ cm} \end{array} \right]$		

## Markovkedjor för D1

### D1<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för D1 för 170-175 är på 20x20 värden.

$$P_{D1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0345 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0.0345 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D1:170-175}$ .

$$p(0)_{D1:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D1:170-175}$  och  $p(0)_{D1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D1:170-175}$ .

$P_{D1:170-175}$  och  $p(1)_{D1:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D1:170-175}$ .



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{D1:170-175} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 3 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p^{(1)}_{D1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.0690 \\ 0.1034 \\ 0.0345 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0.1724 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.0690 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \end{bmatrix}^T \quad p^{(2)}_{D1:170-175} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0432 \\ 0.0374 \\ 0.1018 \\ 0.0673 \\ 0.1220 \\ 0.0638 \\ 0.0621 \\ 0.0563 \\ 0.1007 \\ 0.0770 \\ 0.0707 \\ 0.0764 \\ 0.0506 \\ 0.0247 \\ 0.0345 \\ 0.0115 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **D1**<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för D1 för 176-180 är på 22x22 värden.

$$P_{D1:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0233 & 0 & \dots & 0.0233 & 0.0233 & 0.0465 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.50 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D1:176-180}$ .

$$p(0)_{D1:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D1:176-180}$  och  $p(0)_{D1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D1:176-180}$ .

$P_{D1:176-180}$  och  $p(1)_{D1:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D1:176-180}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D:175-180} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 0 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$=$	$p^{(1)}_{D:176-180} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0698 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0.1163 \\ 0.0930 \\ 0.1395 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \end{bmatrix}^T$	$=$	$p^{(2)}_{D:176-180} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0106 \\ 0 \\ 0.0243 \\ 0.0349 \\ 0.0407 \\ 0.0687 \\ 0.0942 \\ 0.0779 \\ 0.1085 \\ 0.1253 \\ 0.0522 \\ 0.0947 \\ 0.0650 \\ 0.0528 \\ 0.0443 \\ 0.0353 \\ 0.0473 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
-------------------	---	-----	-------------------------	--	-----	-------------------------	---

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **D1**<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för D1 för 181-185 är på 19x19 värden.

$$P_{D1:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0 & \dots & 0.0667 & 0 & 0.3333 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0.50 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D1:181-185}$ .

$$p(0)_{D1:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D1:181-185}$  och  $p(0)_{D1:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(1)_{D1:181-185}$ .

$P_{D1:181-185}$  och  $p(1)_{D1:181-185}$  ger fördelningsvektorn  $p(2)_{D1:181-185}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$\begin{array}{l}
 W_{D:181-185} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 1 \text{ cm} \\ 2 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 6 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 p(1)_{D:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.1333 \\ 0.1333 \\ 0.1000 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0667 \\ 0.1333 \\ 0.0667 \\ 0 \\ 0.0333 \end{bmatrix}^T
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 p(2)_{D:181-185} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0190 \\ 0.0188 \\ 0.0188 \\ 0.0400 \\ 0.0721 \\ 0.0867 \\ 0.0934 \\ 0.0455 \\ 0.1630 \\ 0.0776 \\ 0.1296 \\ 0.0386 \\ 0.0285 \\ 0.0524 \\ 0.0802 \\ 0 \\ 0.0190 \\ 0.0167 \end{bmatrix}^T
 \end{array}$$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### **D1**<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för D1 för 186-190 är på 25x25 värden.

$$P_{D1:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.0208 & 0.0208 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.3333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D1:186-190}$ .

$$p(0)_{D1:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D1:186-190}$  och  $p(0)_{D1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D1:186-190}$ .

$P_{D1:186-190}$  och  $p(1)_{D1:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D1:186-190}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

<i>steg1</i>	0	0
- 3 cm	0	0.0156
0 cm	0	0.0069
2 cm	0.0208	0.0235
3 cm	0	0.0089
4 cm	0.0208	0.0156
5 cm	0.0625	0.0494
6 cm	0.1042	0.0674
7 cm	0.0208	0.0569
8 cm	0.0625	0.0566
9 cm	0.0833	0.0735
10 cm	0.0625	0.0988
$W_{D:186-190} =$ 11 cm	$p(1)_{D:186-190} =$ 0.0625	$p(2)_{D:186-190} =$ 0.0545
12 cm	0.1042	0.0932
13 cm	0.0625	0.0491
14 cm	0.0417	0.0966
15 cm	0.0833	0.0809
16 cm	0.0833	0.0281
17 cm	0.0417	0.0484
18 cm	0.0208	0.0292
19 cm	0	0.0052
20 cm	0.0208	0.0278
21 cm	0	0.0069
22 cm	0.0208	0.0069
25 cm	0.0208	0

## Markovkedjor för D2

### D2<sub>170-175</sub>

Överföringsmatrisen för D2 för 170-175 är på 28x28 värden.

$$P_{D2:170-175} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.069 & \dots & 0.0345 & 0.0345 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D2:170-175}$ .

$$p(0)_{D2:170-175} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D2:170-175}$  och  $p(0)_{D2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D2:170-175}$ .

$P_{D2:170-175}$  och  $p(1)_{D2:170-175}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D2:170-175}$ .



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D2:170-175} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 9 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \\ 31 \text{ cm} \\ 32 \text{ cm} \\ 33 \text{ cm} \\ 34 \text{ cm} \\ 35 \text{ cm} \\ 38 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p^{(1)}_{D2:170-175} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0690 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.1034 \\ 0.1379 \\ 0.0345 \\ 0.0690 \\ 0.1034 \\ 0.1724 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	$p^{(2)}_{D2:170-175} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0230 \\ 0.0172 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0236 \\ 0.0678 \\ 0.0369 \\ 0.0877 \\ 0.1127 \\ 0.0856 \\ 0.0388 \\ 0.0959 \\ 0.0484 \\ 0.0959 \\ 0.0554 \\ 0.0213 \\ 0.0345 \\ 0.0647 \\ 0.0216 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0.0345 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T$
--------------------	--	--------------------------	---	--------------------------	--

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### D2<sub>176-180</sub>

Överföringsmatrisen för D2 för 176-180 är på 27x27 värden.

$$P_{D2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.0233 & 0.0233 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.333 & 0.333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1.00 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D2:176-180}$ .

$$p(0)_{D2:176-180} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D2:176-180}$  och  $p(0)_{D2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D2:176-180}$ .

$P_{D2:176-180}$  och  $p(1)_{D2:176-180}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D2:176-180}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$$W_{D^2:175-180} = \begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 7 \text{ cm} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \\ 31 \text{ cm} \\ 32 \text{ cm} \\ 35 \text{ cm} \end{bmatrix} \quad p(1)_{D^2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0465 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0.1163 \\ 0.0930 \\ 0.1163 \\ 0.0233 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0465 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0.0698 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0 \\ 0.0233 \\ 0.0233 \end{bmatrix}^T \quad p(2)_{D^2:176-180} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0233 \\ 0.0093 \\ 0 \\ 0.0140 \\ 0.0336 \\ 0.0136 \\ 0.0482 \\ 0.0455 \\ 0.0305 \\ 0.0937 \\ 0.0713 \\ 0.0839 \\ 0.0767 \\ 0.0716 \\ 0.0727 \\ 0.0327 \\ 0.0584 \\ 0.0574 \\ 0.0423 \\ 0.0310 \\ 0 \\ 0.0439 \\ 0.0078 \\ 0.0310 \\ 0.0078 \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### D2<sub>181-185</sub>

Överföringsmatrisen för D2 för 181-185 är på 22x22 värden.

$$P_{D2:181-185} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0333 & 0.0333 & \bullet\bullet\bullet & 0.0333 & 0.0333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.250 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D2:181-185}$ .

$$p(0)_{D2:181-185} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D2:181-185}$  och  $p(0)_{D2:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D2:181-185}$ .

$P_{D2:181-185}$  och  $p(1)_{D2:181-185}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D2:181-185}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} \text{steg1} \\ 8 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \end{bmatrix}$	$p(1)_{D2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0.0333 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.1000 \\ 0.1333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0667 \\ 0.0667 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0.0333 \\ 0 \end{bmatrix}^T$	$p(2)_{D2:181-185} =$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0.0267 \\ 0.0567 \\ 0.0411 \\ 0.0300 \\ 0.0278 \\ 0.1122 \\ 0.1078 \\ 0.0700 \\ 0.1156 \\ 0.0522 \\ 0.0844 \\ 0.0500 \\ 0.0744 \\ 0.0278 \\ 0.0067 \\ 0 \\ 0.0167 \\ 0.0833 \end{bmatrix}^T$
--------------------	---	-----------------------	---	-----------------------	--

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

### D2<sub>186-190</sub>

Överföringsmatrisen för D2 för 186-190 är på 29x29 värden.

$$P_{D2:186-190} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0.0208 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bullet\bullet\bullet & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Där de olika kolonnerna och raderna motsvarar värdevektorn  $W_{D2:186-190}$ .

$$p(0)_{D2:186-190} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad \bullet\bullet\bullet \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$P_{D2:186-190}$  och  $p(0)_{D2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(1)_{D2:186-190}$ .

$P_{D2:186-190}$  och  $p(1)_{D2:186-190}$  ger fördelningsvektoren  $p(2)_{D2:186-190}$ .

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

$W_{D2:186-190} =$	$\begin{matrix} \text{stegl} \\ 4 \text{ cm} \\ 7 \text{ cm} \\ 9 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \\ 11 \text{ cm} \\ 12 \text{ cm} \\ 13 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ 16 \text{ cm} \\ 17 \text{ cm} \\ 18 \text{ cm} \\ 19 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \\ 21 \text{ cm} \\ 22 \text{ cm} \\ 23 \text{ cm} \\ 24 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 26 \text{ cm} \\ 27 \text{ cm} \\ 28 \text{ cm} \\ 29 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \\ 32 \text{ cm} \\ 42 \text{ cm} \\ 43 \text{ cm} \\ 45 \text{ cm} \end{matrix}$	$p(1)_{D2:186-190} =$	$\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0417 \\ 0.0625 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0.0417 \\ 0.0833 \\ 0.0208 \\ 0.0625 \\ 0.0417 \\ 0.0625 \\ 0.0417 \\ 0.0625 \\ 0.1042 \\ 0.0625 \\ 0.0417 \\ 0.0417 \\ 0.0833 \\ 0.0625 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0208 \\ 0.0208 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$	$p(2)_{D2:186-190} =$	$\begin{matrix} 0 \\ 0.0042 \\ 0.0125 \\ 0.0042 \\ 0.0208 \\ 0.0167 \\ 0.0139 \\ 0.0586 \\ 0.0472 \\ 0.0434 \\ 0.0691 \\ 0.0846 \\ 0.0500 \\ 0.0349 \\ 0.0606 \\ 0.0430 \\ 0.0548 \\ 0.0462 \\ 0.1252 \\ 0.0668 \\ 0.0089 \\ 0.0434 \\ 0.0194 \\ 0.0194 \\ 0.0313 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.0104 \\ 0.0104 \end{matrix}$
--------------------	---	-----------------------	---	-----------------------	--





## Appendix B CALFEM-kod till Dynamisk simulering av golv

```
function walking
close all
clear all
clc

Etra=12*10^9;
Espan=2*10^9;
Ex=Etra*45/555;
Ey=Espan*22/217;
v=0.3;
dtra=450;
dspan=600;
% Gn=(1/Ex+1/Ey)/2;
G=((Ey+Ex)/2.6)*0.5
C=[1/Ex,-v/Ey,0;-v/Ey,1/Ey,0;0,0,1/G];
D=inv(C);

thick=0.217;
dens=2*1*0.045*0.195*dtra+1*1*0.022*dspan;
d1=0.1;
X1=3;
Y1=2;
xx=X1/d1;
yy=Y1/d1;
Coord=[];
for ty=0:yy
    for tx=0:xx
        Coord=[Coord;tx*d1,ty*d1];

    end
end

Dof=[];
sc=size(Coord)
for p=1:3:(sc(1)*3)
    Dof=[Dof;p,p+1,p+2];
end

Edof=[];
for ui=0:yy-1
    for io=1:xx

Edof=[Edof;io+ui*xx,Dof(io+ui*(xx+1),:),Dof(io+1+ui*(xx+1),:),Dof(io+xx+2+ui*(x
x+1),:),Dof(io+xx+1+ui*(xx+1),:)];
    end
end

[Ex,Ey]=coordxtr(Edof,Coord,Dof,4);

figure(1)
eldraw2(Ex,Ey,[1 3 0]);%,Edof(:,1)
%val av frihetsgrader

[x,y,x181185,y181185]=stepposition;
pos181185=[x181185(:,1),y181185(:,1)]
```

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
posf181185=(round(pos181185*10))/10;
Coord=round(10*Coord)/10;
for pp=1:length(posf181185)
    for uu=1:length(Coord)
        if Coord(uu,1)==posf181185(pp,1) & Coord(uu,2)==posf181185(pp,2)
            Dofnrforce(pp)=Dof(uu,1);
        end
    end
end

avvel=[];
for uu=1:length(Coord)
    if Coord(uu,1)<=2 & Coord(uu,1)>=1 & Coord(uu,2)<=1.5 & Coord(uu,2)>=0.5
        avvel=[avvel,Dof(uu,1)];
    end
end

%K and M matrixs
disp('K och M matriser paborjas')
K=zeros(3*((xx+1)*(yy+1)));
M=zeros(3*((xx+1)*(yy+1)));
ep=[thick dens 2,1,1];
for i=1:xx*yy
    [Ke,Me]=mrpli4d(Ex(i,:),Ey(i,:),ep,D);
    K=assem(Edof(i,:),K,Ke);
    M=assem(Edof(i,:),M,Me);
end
k=sparse(K);
m=sparse(M);
bc=[];
disp('K och M matriser fardiga')
for ee=1:3:(xx+1)*3
    bc=[bc;ee 0];
end
for ee=((xx+1)*3)*yy+1:3:(((xx+1)*3)*(yy+1))
    bc=[bc;ee 0];
end
for ee=((xx+1)*3)+1:(xx+1)*3:((xx+1)*3)*yy
    bc=[bc;ee 0];
end
for ee=((xx+1)*3)*2-2:(xx+1)*3:((xx+1)*3)*yy
    bc=[bc;ee 0];
end
bc=sort(bc,1);
disp('Randvilkor fardiga')

%dynamisk simulering
d0=zeros(((xx+1)*(yy+1))*3,1);
v0=d0;
load=-80*9.81;%wiegth181185
T=3;
((xx+1)*3)*10+1
G1=[0 0;0.02 1;0.5 1;0.51 0;T 0];
G2=[0 0;0.5 0;0.52 1;1 1;1.01,0;T 0];
G3=[0 0;1 0;1.02 1;1.5 1;1.51 0;T 0];
G4=[0 0;1.5 0;1.52 1;2 1;2.01 0;T 0];
dt=0.01;
[t,g1]=gfunc(G1,dt);
[t2,g2]=gfunc(G2,dt);
[t3,g3]=gfunc(G3,dt);
```

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
[t3,g4]=gfunc(G4,dt);
f1=zeros((xx+1)*(yy+1))*3,length(g1));
f2=f1;
f3=f1;
f=f1;
f4=f1;
f1(Dofnrforce(1),:)=load*g1;
f2(Dofnrforce(2),:)=load*g2;
f3(Dofnrforce(3),:)=load*g3;
f4(Dofnrforce(4),:)=load*g4;
f=f1+f2+f3+f4;
disp('kraftvektor over tiden fardig! Dynamisk berakning paborjas')
ntimes1=[0.1:0.1:0.5];
nhist=[Dofnrforce(1) Dofnrforce(2) Dofnrforce(3) Dofnrforce(4) avvel];
ip=[dt T 0.25 0.5 5 3 ntimes1 nhist];
[Dsnap,D,V,A]=step2(k,[],m,d0,v0,ip,f,bc);
figure(2)
title('Hastighet för 4 punkter på lättviktsbjälklag')
subplot(2,2,1), plot(t,V(1,:),'-')
title('Hastighet för 1:a punkten')
grid
subplot(2,2,2), plot(t,V(2,:),'-')
title('Hastighet för 2:a punkten')
grid
subplot(2,2,3), plot(t,V(3,:),'-')
title('Hastighet för 3:e punkten')
grid
subplot(2,2,4), plot(t,V(4,:),'-')
title('Hastighet för 4:e punkten')
grid

figure(3)
plot(t,D(1,:)*1000,'-',t,D(2,:)*1000,'-',t,D(3,:)*1000,'-',t,D(4,:)*1000,'-')
legend('1:a excitationpunkten','2:a excitationpunkten','3:e excitationpunkten','4:e excitationpunkten','Location','SouthEast');
ylabel('Förskjutning i millimeter')
xlabel('Tid i sekunder')
title('Förskjutning för 4 punkter på lättviktsbjälklag')
grid
figure(4)
plot(t,g1(1,:),'-',t,g2(1,:),'-',t,g3(1,:),'-',t,g4(1,:),'-')
axis([-0.1 2.1 -0.1 1.1])
legend('1:a steget','2:a steget','3:e steget','4:e steget','Location','SouthEast');

aavvel=[]
sizev=size(V);
for yy=1:sizev(2)
    sumavvel=0;
    for xx=5:sizev(1)
        sumavvel=sumavvel+V(xx,yy)*V(xx,yy);
    end
    aavvel=[aavvel;sqrt(sumavvel)/(sizev(1)-4)];
end
aavvel
figure(5)
plot(t,aavvel,'-')
title('Genomsnittlig normerad hastighet ')
ylabel('Hastighet i m/s')
xlabel('Tid i sekunder')
```



## Appendix C Matlabkoden för Markovkedjorna som beskriver d1

```
function
[antaldlmarkov,dlvaluelist,antaldlmarkov170175,dlvaluelist170175,antaldlmarkov1
76180,dlvaluelist176180,antaldlmarkov181185,dlvaluelist181185,antaldlmarkov1861
90,dlvaluelist186190]=aamarkovstegd1(antal,antalsteg,antal170175,antalsteg17017
5,antal176180,antalsteg176180,antal181185,antalsteg181185,antal186190,antalsteg
186190)
% clc
% clear all
% close all
person=load('-ascii',
'datafilmätdataperson2.txt');%försöksnummer,ålder,vikt,längd,skostorlek
steg=load('-ascii', 'datafilmätdatasteg2.txt');%1 försöksnummer,2 stegnummer,3
11,4 L1,5 L2,
%6 d1,7 d2,8 d3,9 D1,10 D2,11 theta

    sizesteg=size(steg);
%extraction of distribution of d1
dldistribusion=[];

c=0;
for x=1:sizesteg(1)
    sizedldistribusion=size(dldistribusion);
    c=0;
    for y=1:sizedldistribusion(1)
        if dldistribusion(y,1)==round(steg(x,6))
            dldistribusion(y,2)=dldistribusion(y,2)+1;
            c=1;
        end
    end
    if c==0
        dldistribusion=[dldistribusion;round(steg(x,6)),1];
        a=2;
    end
end
dldistribusion;
sorteddldistribusion=sortrows(dldistribusion,1);
sizedld=size(sorteddldistribusion);

sorteddldistributionpercent(:,1)=sorteddldistribusion(:,1);
sorteddldistributionpercent(:,2)=sorteddldistribusion(:,2)*100/sizesteg(1);
sorteddldistributionpercent;
sizedldp=size(sorteddldistributionpercent);
distributionfunctionsldp=[];
sum1=0;
for t=1:sizedldp(1)
    sum1=sum1+sorteddldistributionpercent(t,2);

distributionfunctionsldp=[distributionfunctionsldp;sorteddldistributionpercent(
t,1),sum1/100];
end

dlmarkov=zeros(sizedld(1)+1);

u=0;
c=1;
```

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
a=0;
y=1;
for t=1:150
    t;
    s=0;
    while s==0 && u<sizesteg(1)
        u=u+1;
        a=steg(u,1);
    end
    if a==t+1
        s=1;
        u=u-1;
    else
        if a~=t+1
            if steg(u,2)==1
                for pp=1:sizesdld
                    if sorteddldistribution(pp,1)==round(steg(u,6))
                        vv=pp;
                    end
                end
                dlmarkov(1,vv+1)= dlmarkov(1,vv+1)+1;
            end
            if steg(u,2)~=1
                for pp=1:sizesdld
                    if sorteddldistribution(pp,1)==round(steg(u-1,6))
                        x=pp;
                    end
                end
                c=0;
                for y=1:sizesdld(1)
                    if sorteddldistribution(y,1)==round(steg(u,6))
                        round(steg(u,6));
                        dlmarkov(x+1,y+1)= dlmarkov(x+1,y+1)+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
dlmarkov;

%överföringsmatris för markovprocess för variabeln dl
%cm
pdmarkov=zeros(sizesdld(1)+1);
sumdlmarkov=0;
for ss=1:sizesdld(1)+1
    sumdlmarkov=0;
    for bb=1:sizesdld(1)+1
        sumdlmarkov=sumdlmarkov+dlmarkov(ss,bb);
    end
end
if sumdlmarkov~=0
    for tt=1:sizesdld(1)+1
        pdmarkov(ss,tt)=dlmarkov(ss,tt)/sumdlmarkov;
    end
end
end
```

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

%utskrift av markovöverföringsfunktion

pdmarkov;

```
u=0;
c=1;
a=0;
dldistribution186190=[];
dldistribution181185=[];
dldistribution176180=[];
dldistribution170175=[];
for t=1:150
    t;
    s=0;
    while s==0 && u<sizesteg(1)
        u=u+1;
        a=steg(u,1);
        if a==t+1
            s=1;
            u=u-1;
        else
            if a~=t+1
                if person(t,4)<191 & person(t,4)>185
                    sizedldistribution186190=size(dldistribution186190);
                    c=0;
                    for y=1:sizedldistribution186190(1)
                        if dldistribution186190(y,1)==round(steg(u,6))
                            dldistribution186190(y,2)=dldistribution186190(y,2)+1;
                            c=1;
                        end
                    end
                    if c==0
                        dldistribution186190=[dldistribution186190;round(steg(u,6)),1];
                    end
                end
                if person(t,4)<186 & person(t,4)>180
                    sizedldistribution181185=size(dldistribution181185);
                    c=0;
                    for y=1:sizedldistribution181185(1)
                        if dldistribution181185(y,1)==round(steg(u,6))
                            dldistribution181185(y,2)=dldistribution181185(y,2)+1;
                            c=1;
                        end
                    end
                    if c==0
                        dldistribution181185=[dldistribution181185;round(steg(u,6)),1];
                    end
                end
                if person(t,4)<181 & person(t,4)>175
                    sizedldistribution176180=size(dldistribution176180);
                    c=0;
                    for y=1:sizedldistribution176180(1)
                        if dldistribution176180(y,1)==round(steg(u,6))
                            dldistribution176180(y,2)=dldistribution176180(y,2)+1;
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
        c=1;
    end
end
if c==0

dldistribution176180=[dldistribution176180;round(steg(u,6)),1];
    end
    end
    if person(t,4)<176
        sizedldistribution170175=size(dldistribution170175);
        c=0;
        for y=1:sizedldistribution170175(1)
            if dldistribution170175(y,1)==round(steg(u,6))

dldistribution170175(y,2)=dldistribution170175(y,2)+1;
                c=1;
                end
            end
            if c==0

dldistribution170175=[dldistribution170175;round(steg(u,6)),1];
                    end
                    end
                    end
                    end

                    end

dldistribution186190;
dldistribution181185;
dldistribution176180;
dldistribution170175;

sorteddldistribution170175=sortrows(dldistribution170175,1);
sizedd1p170175=size(sorteddldistribution170175);

sorteddldistribution176180=sortrows(dldistribution176180,1);
sizedd1p176180=size(sorteddldistribution176180);

sorteddldistribution181185=sortrows(dldistribution181185,1);
sizedd1p181185=size(sorteddldistribution181185);

sorteddldistribution186190=sortrows(dldistribution186190,1);
sizedd1p186190=size(sorteddldistribution186190);

dlmarkov186190=zeros(sizedd1p186190(1)+1);
dlmarkov181185=zeros(sizedd1p181185(1)+1);
dlmarkov176180=zeros(sizedd1p176180(1)+1);
dlmarkov170175=zeros(sizedd1p170175(1)+1);

u=0;
a=0;
y=1;
for t=1:150
    t;
    s=0;
    while s==0 && u<sizesteg(1)
        u=u+1;
        a=steg(u,1);
```



## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
if a==t+1
    s=1;
    u=u-1;
else
    if person(t,4)<191 & person(t,4)>185
        if steg(u,2)==1
            for pp=1:sizesddlp186190(1)
                if sorteddd1distribution186190(pp,1)==round(steg(u,6))
                    vv=pp;
                end
            end
            dlmarkov186190(1,vv+1)= dlmarkov186190(1,vv+1)+1;
        end
        if steg(u,2)~=1
            for pp=1:sizesddlp186190(1)
                if sorteddd1distribution186190(pp,1)==round(steg(u-
1,6))
                    x=pp;
                end
            end
            for y=1:sizesddlp186190(1)
                if sorteddd1distribution186190(y,1)==round(steg(u,6))
                    dlmarkov186190(x+1,y+1)= dlmarkov186190(x+1,y+1)+1;
                end
            end
        end
    end
    if person(t,4)<186 & person(t,4)>180
        if steg(u,2)==1
            for pp=1:sizesddlp181185(1)
                if sorteddd1distribution181185(pp,1)==round(steg(u,6))
                    vv=pp;
                end
            end
            dlmarkov181185(1,vv+1)= dlmarkov181185(1,vv+1)+1;
        end
        if steg(u,2)~=1
            for pp=1:sizesddlp181185(1)
                if sorteddd1distribution181185(pp,1)==round(steg(u-
1,6))
                    x=pp;
                end
            end
            for y=1:sizesddlp181185(1)
                if sorteddd1distribution181185(y,1)==round(steg(u,6))
                    dlmarkov181185(x+1,y+1)= dlmarkov181185(x+1,y+1)+1;
                    c=1;
                end
            end
        end
    end
    if person(t,4)<181 & person(t,4)>175
        if steg(u,2)==1
            for pp=1:sizesddlp176180(1)
                if sorteddd1distribution176180(pp,1)==round(steg(u,6))
                    vv=pp;
                end
            end
        end
    end
end
```

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
        dlmarkov176180(1,vv+1)= dlmarkov176180(1,vv+1)+1;
    end
    if steg(u,2)~=1
        for pp=1:sizesddlp176180(1)
            if sortedddistribution176180(pp,1)==round(steg(u-
1,6))
                x=pp;
            end
        end

        for y=1:sizesddlp176180(1)
            if sortedddistribution176180(y,1)==round(steg(u,6))
                dlmarkov176180(x+1,y+1)= dlmarkov176180(x+1,y+1)+1;
            end
        end
    end
end
if person(t,4)<176
    if steg(u,2)==1
        for pp=1:sizesddlp170175(1)
            if sortedddistribution170175(pp,1)==round(steg(u,6))
                vv=pp;
            end
        end
        dlmarkov170175(1,vv+1)= dlmarkov170175(1,vv+1)+1;
    end
    if steg(u,2)~=1
        for pp=1:sizesddlp170175(1)
            if sortedddistribution170175(pp,1)==round(steg(u-
1,6))
                x=pp;
            end
        end

        for y=1:sizesddlp170175(1)
            if sortedddistribution170175(y,1)==round(steg(u,6))
                dlmarkov170175(x+1,y+1)= dlmarkov170175(x+1,y+1)+1;
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end

dlmarkov186190;
dlmarkov181185;
dlmarkov176180;
dlmarkov170175;

%överföringsmatris för markovprocess för variabeln dl för längderna 186-190
%cm
pd1markov186190=zeros(sizesddlp186190(1)+1);
sumdlmarkov186190=0;
for ss=1:sizesddlp186190(1)+1
    sumdlmarkov186190=0;
    for bb=1:sizesddlp186190(1)+1
        sumdlmarkov186190=sumdlmarkov186190+dlmarkov186190(ss,bb);
    end
end
end
end
end
end
end
end
```

## Simulering av stömljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
end
if sumdlmarkov186190~=0
    for tt=1:sizesdd1p186190(1)+1
        pdlmarkov186190(ss,tt)=dlmarkov186190(ss,tt)/sumdlmarkov186190;
    end
end
end

%överföringsmatris för markovprocess för variabeln dl för längderna 181-185
%cm
pdlmarkov181185=zeros(sizesdd1p181185(1)+1);
sumdlmarkov181185=0;
for ss=1:sizesdd1p181185(1)+1
    sumdlmarkov181185=0;
    for bb=1:sizesdd1p181185(1)+1
        sumdlmarkov181185=sumdlmarkov181185+dlmarkov181185(ss,bb);
    end
end
if sumdlmarkov181185~=0
    for tt=1:sizesdd1p181185(1)+1
        pdlmarkov181185(ss,tt)=dlmarkov181185(ss,tt)/sumdlmarkov181185;
    end
end
end

%överföringsmatris för markovprocess för variabeln dl för längderna 176-180
%cm
pdlmarkov176180=zeros(sizesdd1p176180(1)+1);
sumdlmarkov176180=0;
for ss=1:sizesdd1p176180(1)+1
    sumdlmarkov176180=0;
    for bb=1:sizesdd1p176180(1)+1
        sumdlmarkov176180=sumdlmarkov176180+dlmarkov176180(ss,bb);
    end
end
if sumdlmarkov176180~=0
    for tt=1:sizesdd1p176180(1)+1
        pdlmarkov176180(ss,tt)=dlmarkov176180(ss,tt)/sumdlmarkov176180;
    end
end
end

%överföringsmatris för markovprocess för variabeln dl för längderna 170-175
%cm
pdlmarkov170175=zeros(sizesdd1p170175(1)+1);
sumdlmarkov170175=0;
for ss=1:sizesdd1p170175(1)+1
    sumdlmarkov170175=0;
    for bb=1:sizesdd1p170175(1)+1
        sumdlmarkov170175=sumdlmarkov170175+dlmarkov170175(ss,bb);
    end
end
if sumdlmarkov170175~=0
    for tt=1:sizesdd1p170175(1)+1
        pdlmarkov170175(ss,tt)=dlmarkov170175(ss,tt)/sumdlmarkov170175;
    end
end
end

%utskrift av markovöverföringsfunktioner
pdlmarkov186190;
```

## Simulering av stomljud med hjälp av gångmönsterstatistik

```
pd1markov181185;
pd1markov176180;
pd1markov170175;

%beräkning av fördelning av dl för hela gruppen beroende på antal steg
if antal~=0
    antaldlmarkov=zeros(1,sizesdd(1)+1);
    antaldlmarkov(1)=antal;
    for yy=1:antalsteg
        antaldlmarkov=antaldlmarkov*pd1markov;
    end
    antaldlmarkov;
    dlvaluelist=[i -i;sorteddl1distribution];
end

%beräkning av fördelning av dl för 170-175 beroende på antal steg
if antal170175~=0
    antaldlmarkov170175=zeros(1,sizesdd1p170175(1)+1);
    antaldlmarkov170175(1)=antal170175;
    for yy=1:antalsteg170175
        antaldlmarkov170175=antaldlmarkov170175*pd1markov170175;
    end
    antaldlmarkov170175;
    dlvaluelist170175=[i -i;sorteddl1distribution170175];
end

%beräkning av fördelning av dl för 176-180 beroende på antal steg
if antal176180~=0
    antaldlmarkov176180=zeros(1,sizesdd1p176180(1)+1);
    antaldlmarkov176180(1)=antal176180;
    for yy=1:antalsteg176180
        antaldlmarkov176180=antaldlmarkov176180*pd1markov176180;
    end
    antaldlmarkov176180;
    dlvaluelist176180=[i -i;sorteddl1distribution176180];
end

%beräkning av fördelning av dl för 181-185 beroende på antal steg
if antal181185~=0
    antaldlmarkov181185=zeros(1,sizesdd1p181185(1)+1);
    antaldlmarkov181185(1)=antal181185;
    for yy=1:antalsteg181185
        antaldlmarkov181185=antaldlmarkov181185*pd1markov181185;
    end
    antaldlmarkov181185;
    dlvaluelist181185=[i -i;sorteddl1distribution181185];
end

%beräkning av fördelning av dl för 186-190 beroende på antal steg
if antal186190~=0
    antaldlmarkov186190=zeros(1,sizesdd1p186190(1)+1);
    antaldlmarkov186190(1)=antal186190;
    for yy=1:antalsteg186190
        antaldlmarkov186190=antaldlmarkov186190*pd1markov186190;
    end
    antaldlmarkov186190;
    dlvaluelist186190=[i -i;sorteddl1distribution186190];
end
```