

Bumpudformning

- en diskussion af Trafikministeriets cirkulære af 1. Juli 1997 om udformning af hastighedsdæmpende bump

af Harry Lahrmann, Trafikforskningsgruppen,
Aalborg Universitet

Indledning

Når vi i dag laver fysisk fartdæmpning på vejene er grundlaget betænkning nr. 827 fra Justitsministeriet, 1978. Heri introduceres for første gang i Danmark fysiske foranstaltninger som middel til at dæmpe bilernes hastighed. Holdningen til at anvende fysiske foranstaltninger er i betænkningen præget af mange forbehold. Det gennemgående synspunkt er, at fysiske foranstaltninger er en nødløsning, og at man i stedet bør ombygge vejen, så det er naturligt for bilister at holde en lav hastighed¹. Virkeligheden har imidlertid vist, at det både er meget dyrt og vanskeligt at ombygge vejene, så bilisterne naturligt holder en lav hastighed, og igennem de sidste 10-15 år er bump da også blevet den mest anvendte fysiske foranstaltning, når der skal laves trafiksaneringer.

I den første del af perioden efter 1978 var bump noget, man anvendte på lokalveje, men i de sidste 10 år er antallet af bump på trafikveje vokset eksplosivt. Baggrunden herfor er, at bump har vist sig at være et yderst effektivt middel til at få nedsat bilernes hastighed, samtidig med at prisen for et trafiksaneringsprojekt med bump er meget lavere end for projekter, hvor hastighedsdæmpningen opnås ved snævre vejprofiler og forsætninger².

I takt med at antallet af projekter med bump på trafikveje er vokset, er også utilfredsheden med bump vokset - særligt blandt professionelle chauffører. Baggrunden herfor er ikke kun antallet af bump, men også, at mange bump har en

¹ Lahrmann, Harry, Trafiksanering/fartdæmpning - hvor står vi?, Dansk Vejtidskrift nr. 6-7, 1992

² Et trafiksaneringsprojekt med bump koster typisk 150.000 kr/km, hvorimod en strækningssombygning koster 4-5 mill. kr/km. (Forsøg med bump i Nordjyllands Amt, Evaluering, Forvaltningen for teknik og miljø, Amtsvejvæsenet, 1994)

dårlig udformning. Den dårlige udformning beror dels på, at det har vist sig vanskeligt for asfaltentreprenørerne at udføre bumpet med en tilstrækkelig nøjagtighed og dels, at bump bliver sporkørt over tid.

Cirkulære om udformning af hastighedsdæmpende bump

En massiv kritik fra erhvervschauffører var baggrunden for, at Trafikministeren i sommeren 1997 udsendte et cirkulære med krav til bumps udformning. I cirkulærets §2 bestemmes det, at bump skal udformes, så føreren af en personbil, ved passage med den ønskede hastighed, udsættes for en maksimal lodret acceleration³ på $0,7 \cdot G \pm 0,05 \cdot G$. Ideen i denne bestemmelse er, at den maksimale G-påvirkning ved passage antages at være bestemmende for førerens ubehag ved passage, og dermed for hastighedsvalget.

Uddrag af cirkulære om udformning af hastighedsdæmpende bump

§ 2. Bump skal udformes således, at en fører af en personbil ved passage med den ønskede hastighed og en fører af et tungt køretøj ved passage med den ønskede hastighed minus 15 km/h, udsættes for en lodret acceleration på 0,7 gange tyngdeaccelerationen G plus/minus 0,05 G. Endvidere skal den lodrette acceleration være stigende med stigende passagehastighed.

§ 3. I § 3, stk. 2 og 3 er anført et eksempel på udformning af cirkelformede bump samt på modificering af overgangen mellem et cirkelbumps overflade og vejoverfladen.
Stk. 2. Cirkelformet bump, pilhøjde 100 mm dimensioneres således, idet tolerancen på højdemålene er plus/minus 5 mm:

Krav til lodret acceleration

Der kan imidlertid stilles tre spørgsmål til cirkulærets §2:

1. Beskriver den maksimale G-påvirkning tilstrækkeligt entydigt trafikanternes ubehag og hastighedsvalg?
2. Under hvilke betingelser skal den maksimale G-værdi måles og er 0,7 G en fornuftig værdi?
3. Er det i praksis muligt at overholde nøjagtighedskravet på $\pm 0,05 G$

Ad 1

Sammenhængen mellem den maksimale G-påvirkning og trafikanternes ubehag ved passage af bump er første gang beskrevet af G. R. Watts fra TRRL i 1973⁴.

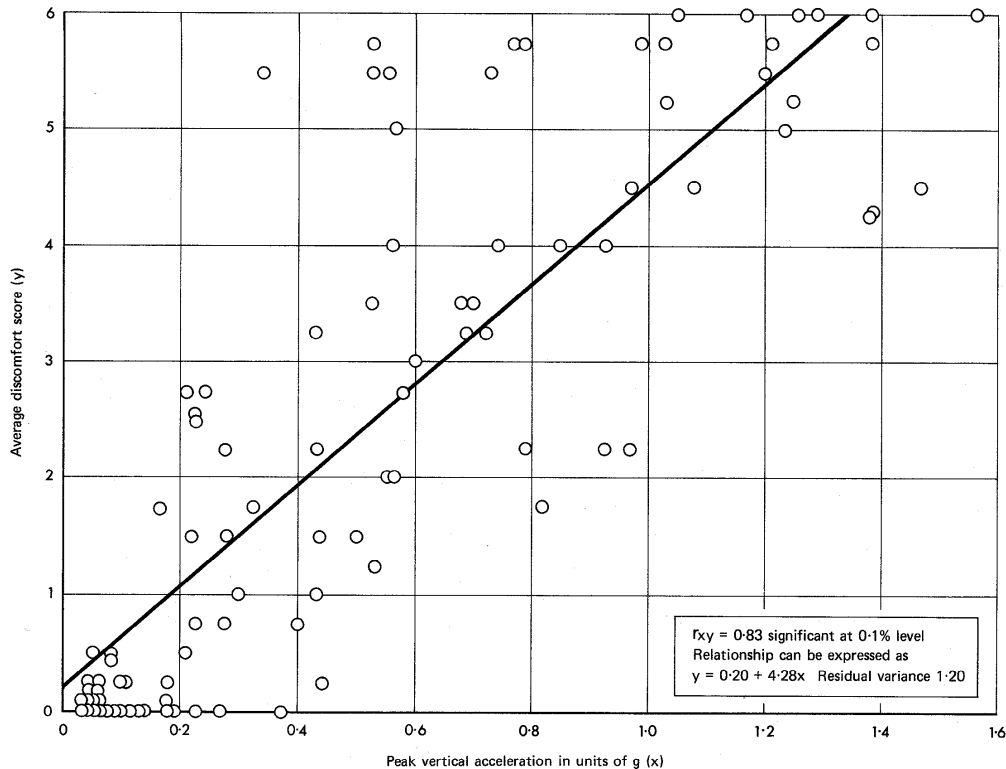
³ Tyngdeaccelerationen $G=9,81 \text{ m/s}^2$

⁴ Watts, G. R., Road humps for the control of vehicle speeds, Report 597, Transport and Road Research Laboratory, England, 1973



Watts målte den maksimale lodrette acceleration ved passage af bump ved forskellige hastigheder. Bilen var en Morris Mini Clubman.

Samtidig med at G-værdierne blev målt, blev fører og forsædepassagerer bedt om at vurdere ubehaget ved passage på en skala fra 0 til 6. Watts' målinger er vist på figur 1. Det fremgår af figur 1, at ubehaget stiger ved stigende maksimal G-påvirkning, men også, at spredningen på forsøgsresultaterne er meget stor. Watts diskuterer ikke, om den store spredning i resultaterne kan tilskrives måleusikkerhed eller en forskellig ubehagsvurdering hos forsøgspersonerne, men de store variationer i Watts' målinger taler for, at den maksimale lodrette acceleration ved passage ikke er noget særligt præcist mål for ubehaget.



Figur 1. Sammenhæng mellem max. acceleration og ubehag - Morris Clubman (Watts. 1973)

Tænker man efter, forekommer det rimeligt, at også forløbet af den lodrette acceleration over tid må have betydning. På figur 2 er vist en computersimulation⁵ af et sådant forløb. Ud fra figur 2 forekommer det troværdigt at antage, at ubehaget ikke alene afhænger af G-værdiens maksimum, men også af kurvens hældninger, altså hvor hurtigt maksimalværdien nås.

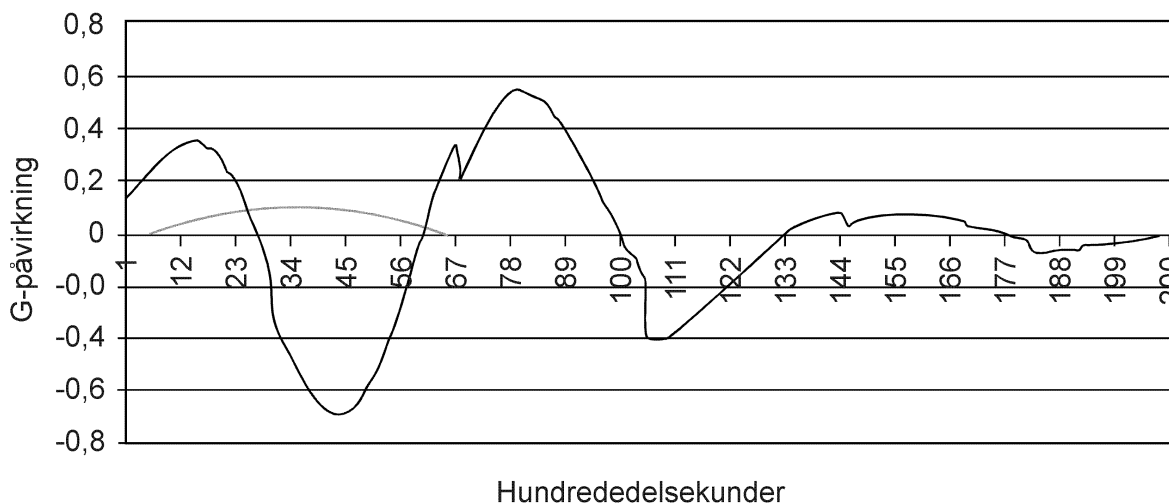
Det må derfor konkluderes, at svaret på spørgsmål 1 er nej, den maksimale G-påvirkning beskriver ikke i sig selv tilstrækkeligt entydigt trafikanternes ubehag ved passage og bør derfor ikke bruges i et cirkulære om bumps udformning.

Ad 2

Cirkulæret fortæller ikke, under hvilke betingelser den maksimale G-værdi skal måles. Dette gør kravet særdeles tvivlsomt, idet G-påvirkningen bl.a. afhænger af bilmærke, affjedringssystemets tilstand, sædets hårdhed, dæktype, dæktryk, førervægt og last i bilen i øvrigt.

Ad 3

Hvis vi forestillede os, at betingelsen på 0,7 G var knyttet til en helt bestemt bil osv., står vi tilbage med to spørgsmål: Det første knytter sig til den praktiske udførelse af målingen. Det må antages, at måleresultatet er følsomt overfor bilens helt nøjagtige passagehastighed samt overfor, om bilen accelererer eller decelererer i passageøjeblikket. Men hvor stor er denne måleusikkerhed? Det



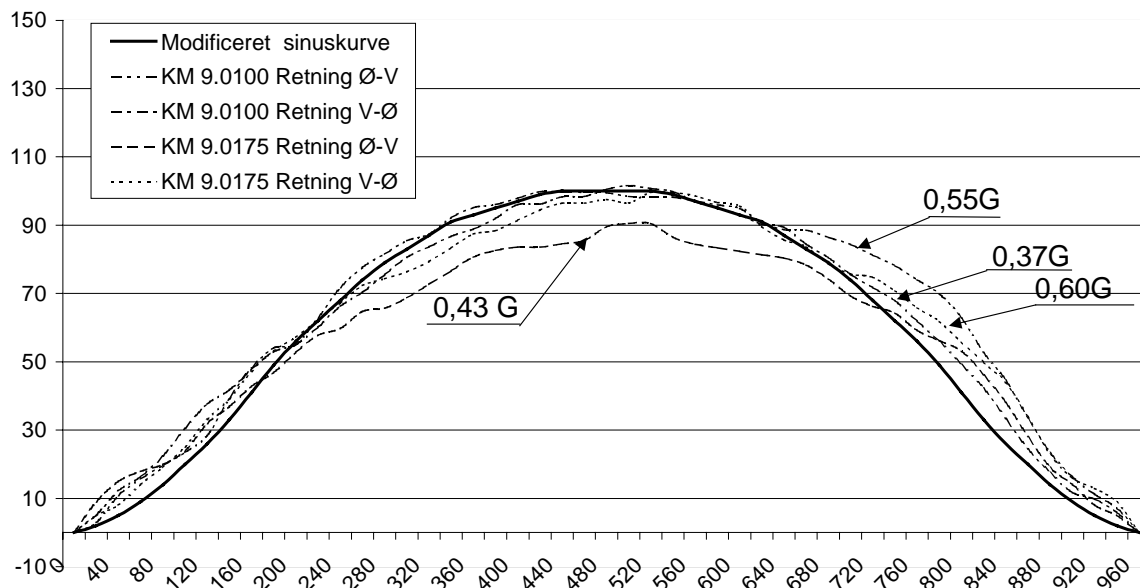
Figur 2 Simulation af max. G-værdier ved passage af 50 km/t bump (Andersen et al, 1997)

⁵ Andersen, Thomas et al, BUMP-En god idé, Den teknisk-naturvidenskabelige basisuddannelse, Aalborg Universitet, 1997

ved vi ikke. Men med et nøjagtighedskrav på $\pm 0,05$ G, må kravet til usikkerheden på målingen være betydeligt lavere, hvis man ikke skal risikere at kassere bump, som i virkeligheden opfylder kravene. Det næste problem er, om det i praksis er muligt at udføre bump så nøjagtigt, at den maksimale G-værdi vil ligge indenfor et interval på $\pm 0,05$ G, og, hvis dette er muligt, hvor lang tid går der, inden trafiklasten har deformeret bumpet, så det ikke længere opfylder kravet?

I Hellum på landevej 524 i Nordjyllands amt er der anlagt en række såkaldt 50 km/t modificerede sinusbump⁶. Vejdirektoratet har målt max. G-værdier på bumpene i Hellum, og i forbindelse med udarbejdelsen af dette paper, er to af bumpene nivelleret. I figur 3 er resultatet af dette nivellement indtegnet sammen med den modificerede sinuskurve, som bumpene er projekteret til at skulle følge⁷.

For hvert bump er der foretaget to nivellementer - et i hver køreretning i det spor, hvor det skønnes, at bilernes venstre hjulpar passerer. Resultaterne for de fire nivellementer er vist i køreretningen. For hver kurve angivet den målte maximale G-værdi. Studier af kurverne og G-værdierne på figur 3 synes ikke på nogen måde at sandsynliggøre, at maksimalværdien for den enkelte kurve har



Figur 3 Modificeret sinusbump, Hellum - Nordjyllands amt, Idv. 534

⁶ Modificerede sinusbump er foreslået af Lahrmann & Mathiasen i artiklen Bumpudformning, Dansk Vejtidskrift nr. 9, 1992

⁷ Y-aksen er overdrevet ca. 300 gange for grafisk at vise forskellene mellem kurverne

nogen tæt sammenhæng med bumpudformningen. Kurverne med G-værdier på 0,37 og 0,60 ligger således geometrisk tæt på hinanden på trods af, at G-værdierne ligger langt fra hinanden.

I forbindelse med nivellementerne foretog forfatteren til dette paper en vurdering af ubehaget ved passage af bumpene med 50 km/t, og der kunne ikke registreres forskelle i ubehaget ved de fire bumppassager.

Figur 3 understøtter altså ikke, at den maksimale G-værdi kan bruges til kontrol af bump. Det er ikke muligt at vurdere, om de store forskelle i G-værdier skyldes forskelle i geometri eller måleusikkerheder. Det er endvidere evident, at cirkulærets krav om en tolerance på $\pm 0,05$ G ikke er muligt at opnå i praksis.

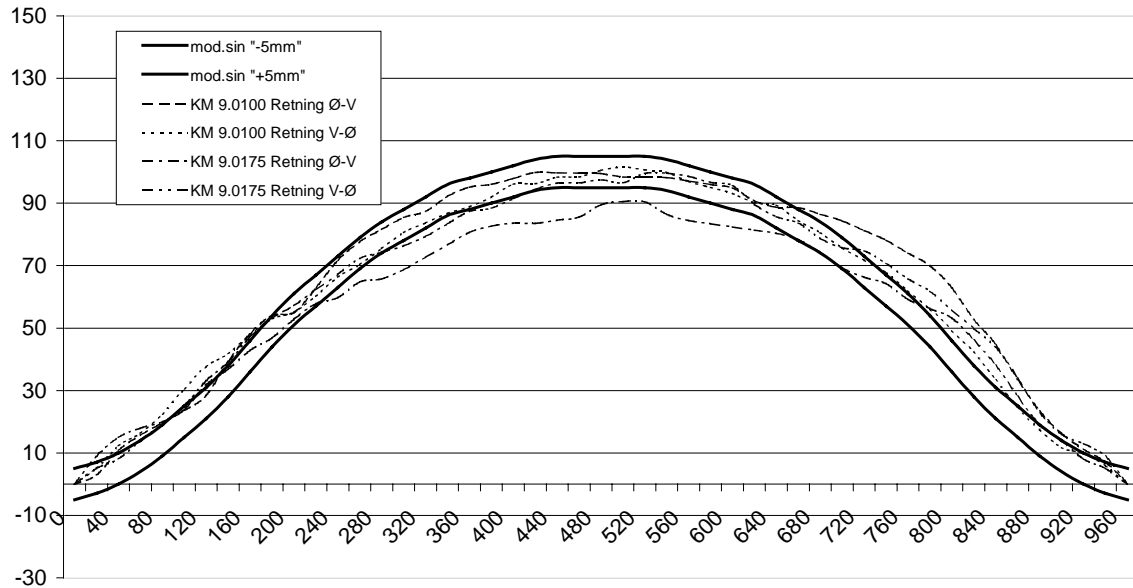
Krav til den geometriske form

I cirkulærets §3 er anført krav til bumps geometriske form, herunder at tolerancen på koterne er ± 5 mm. Men er et sådan krav realistisk? Alene tykkelsen på den skakternede kørebaneafmærkning på bumpene er omkring 5 mm.

Nordjyllands amtskommune har gjort sig store bestræbelser på at lave nøjagtige bump, og i forbindelse med en evaluering af bump på amtets veje blev der gennemført kontrolnivellementer på 41 bump i 12 byer⁸. Konklusionen var, at med et kriterie på ± 5 mm ville kun 13 ud af 41 bump blive accepteret. Hertil kommer, at disse målinger blev foretaget relativt kort tid efter at bumpene var etableret. De var altså endnu ikke sporkørt.

Figur 4 viser igen målingerne fra Hellum. Denne gang med de to tolerancekurver på ± 5 mm indtegnet. Det ses, at ingen af bumpene overholder tolerancekravet.

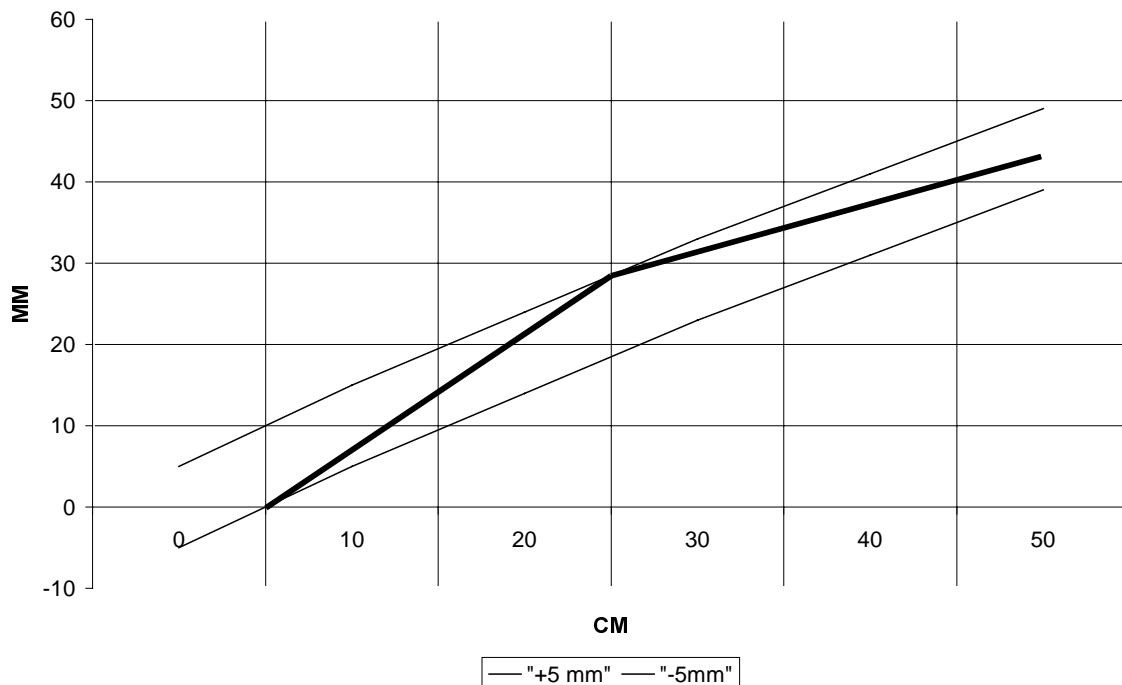
⁸ Forsøg med bump i Nordjyllands amt, Evaluering, Forvaltningen for teknik og miljø, Amtsvejvæsenet, 1994



Figur 4. Nivellement af bump i Hellum sammenlignet med et tolerancekrav på +/- 5mm

De gennemførte nivellementer tyder således på, at det i praksis ikke er muligt at konstruere bump, som i brugssituationen overholder tolerancekravene på ± 5 mm.

Men er et tolerancekrav knyttet udelukkende til koterne specielt hensigtsmæssigt? På skitsen på figur 5 er med fed indtegnet et bumpforløb, der på den ene



Figur 5. Skitse af cirkelbump med stor stejthed som overholder cirkulærekrav

side holder sig indenfor cirkulærets krav, men på den anden side har en delstrækning med en stejlhed på 150 promille - langt større end det ideelle cirkelbumps max. stejlhed på 100 promille.

Konklusionen er altså, at det i §3 opstillede geometriske tolerancekrav til bump ikke er hensigtsmæssigt.

Forslag til geometriske krav til bump

I det foregående er der argumenteret for, at hverken cirkulærets krav til G-værdi eller geometriske tolerancekrav er hensigtsmæssige. Hvad skal man sætte i stedet?

Set fra vejbestyrelsernes side er hensigten med bump at nedsætte bilernes hastighed, så f.eks. 85% af bilisterne kører under den pågældende vejs referencehastighed. Set fra bilisternes synspunkt må det primære krav være, at den enkelte bilist i netop sin bil møder det samme ubehag, hver gang et bump passeres på veje i samme hastighedsklasse.

Der er ingen tvivl om, at en ensartet bumpudformning er vigtig. Problemet er blot, at vi i dag dels ikke har metoder til at anlægge/vedligeholde bump med meget stor geometrisk nøjagtighed, dels ikke i detaljer ved, hvilke geometriske elementer ved bumpet, der er afgørende for ubehaget.

Hovedsvaret må derfor være, at der igangsættes et forsknings- og udviklingsarbejde omkring bump. Arbejdet bør indeholde følgende punkter:

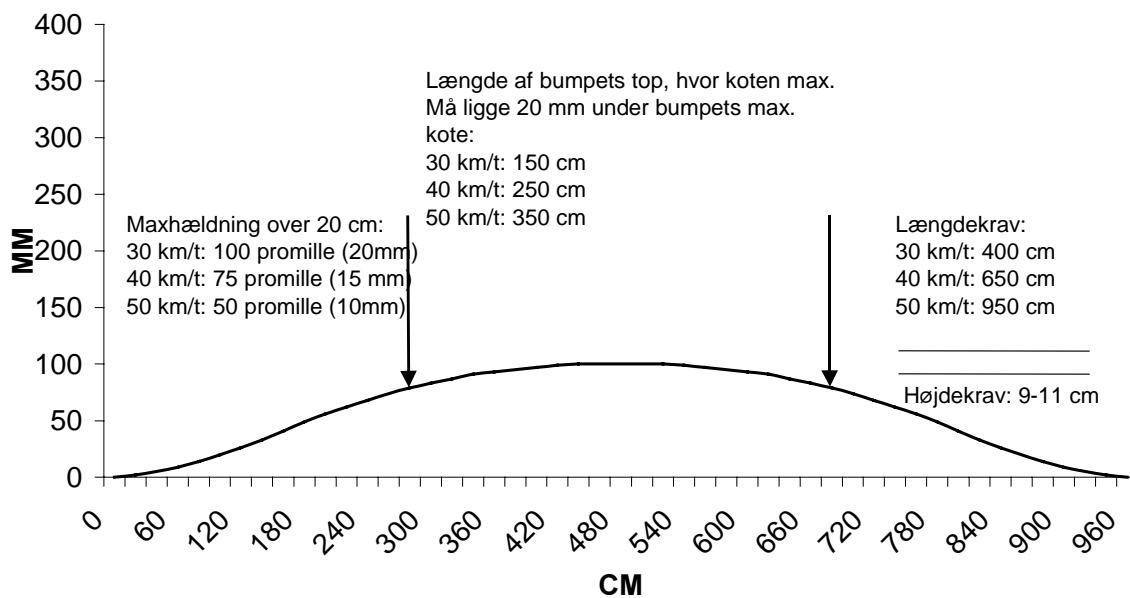
- Metoder til måling af ubehag
- Optimering af geometrisk form
- Materialevalg
- Udførelsesmetoder
- Vedligeholdelse

Som tidligere nævnt, er der mange dårligt udførte bump, og det vil ikke være rimeligt, at en forbedring af disse bump skal afvente et forskningsarbejde, som nødvendigvis vil tage flere år. Der skal derfor i dette paper opstilles et forslag til nogle enkle geometriske krav til bump, som kan udgøre et midlertidigt regelsæt indtil resultaterne af ovennævnte forskning kan implementeres. Udgangspunktet for de opstillede geometriske krav til udformning af bump er de fysiske størrelser, som vurderes at påvirke bilen mest ved passage af et bump. Disse fysiske størrelser er følgende:

- Bumpets højde over kørebanen
- Bumpets maksimale hældning (stigning)
- Længden af bumpets top (afgørende for om forhjulene begynder at køre ned før baghjulene har nået toppen)

Der tages således ikke stilling til anvendelsen af en bestemt geometrisk form på bumpet (cirkelbump, modifieret cirkelbump, sinusbump eller modificeret sinusbump).

I Figur 6 er vist et forslag til sådanne geometriske krav. Højdekravet sikrer, at bumpet samlet kommer op i en højde, som i praksis har vist sig at give fornuftige bump. Længdekravet til bumpets top sikrer, at bumpet ikke bliver for kort, så forhjulene kører ned før baghjulene kører op. Endelig sikrer maxhældningen, at bilisterne ikke udsættes for en kraftig stødpåvirkning. Udførelsesmæssigt vurderes disse krav at være nemmere at opfylde end cirkulærets krav. Bumpene i Hellum ville således blive accepteret efter disse krav.



Figur 6. Forslag til principper for geometriske krav til bump

Det skal understreges, at tallene i figur 6 er foreløbige krav, som dels er opstillet på baggrund af koterne til hhv. cirkelbump og til modificerede sinusbump og dels ud fra en analyse af nogle få kontrolnivelementer af eksisterende bump. Før forslaget kan anvendes i praksis, må det gennem kontrolnivelementer af en række bump - både gode og dårlige - sikres, at kravene på en hensigtsmæssig måde udpeger de dårlige bump.